APUNTES DE ACÚSTICA EN LA EDIFICACIÓN Y EL URBANISMO (VII)

por

CÉSAR DÍAZ SANCHIDRIÁN



CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID

2-51-07

APUNTES DE ACÚSTICA EN LA EDIFICACIÓN Y EL URBANISMO (VII)

por

CÉSAR DÍAZ SANCHIDRIÁN

CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID

2-51-07

C U A D E R N O S
D E L I N S T I T U T O
J U A N D E H E R R E R A

0 VARIOS
1 ESTRUCTURAS
2 CONSTRUCCIÓN
3 FÍSICA Y MATEMÁTICAS
4 TEORÍA
5 GEOMETRÍA Y DIBUJO
6 PROYECTOS
7 URBANISMO
8 RESTAURACIÓN

NUEVA NUMERACIÓN

2 Área
51 Autor
07 Ordinal de cuaderno (del autor)

Apuntes de acústica en la edificación y el urbanismo (VII)

Instituto Juan de Herrera.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
Composición y maquetación: Daniel Álvarez Morcillo.
CUADERNO 136.01 / 2-51-07
ISBN: 84-9728-021-0 (obra completa)
ISBN: 84-9728-040-7 (Apuntes VII)
Depósito Legal: M-22678-2002

ÍNDICE

14 AISLAMIENTO ACÚSTICO DE RUIDO DE IMPACTOS

14.1.- INTRODUCCIÓN

Los ruidos estructurales están producidos por excitaciones mecánicas que actúan sobre la estructura. Estas excitaciones pueden ser estacionarias (ventiladores, bombas acondicionadores de aire, electrodomésticos, etc) o impactos (caídas de objetos, pisadas, arrastres de muebles, martillazos, etc). Cuando una estructura vibra, las vibraciones se transmiten por ella con muy poca atenuación y ponen en vibración a las superficies y objetos en contacto con ella y estas emiten energía en forma de ruido aéreo. La potencia acústica irradiada por una pared o un forjado en cada uno de los locales que limita esta dada por

$$W = S\rho c\overline{v}^2\sigma_{rad} \quad W \qquad [14.1]$$

donde

S, es el área de la pared; σ_{rad}, es el factor de radiación para ondas de flexión libres, su valor aproximado es uno para frecuencias superiores a la crítica; ρc, la impedancia característica del aire; $\overline{v}^2$, es la velocidad cuadrática media espacio-temporal de las vibraciones de la pared y normal a la misma, al estar sometida a las ondas de flexión.

Los ruidos de impactos están producidos por una excitación mecánica de corta duración, (impulso mecánico), aplicado directamente sobre un elemento sólido. Cuando este impulso se produce sobre un elemento de la estructura de un edificio, se origina un ruido estructural que puede propagarse a grandes distancias en él. En los ruidos de impacto se comunica una cantidad de energía a una superficie pequeña, que se pone en vibración e irradia a otros locales por las paredes unidas entre sí. Al propagarse en un medio sólido su velocidad de propagación es mucho mayor que la de propagación de las ondas en el aire. La energía que se intercambia en los ruidos de impactos es mucho mayor que en los ruidos aéreos y en consecuencia es más difícil disminuir los niveles del ruido de impactos. Los ruidos de impacto generan vibraciones que se propagan a los locales próximos por las paredes. Estas vibraciones son de la misma naturaleza mecánica que los ruidos aéreos producidos en los locales.

En el caso de los impactos la masa del elemento constructivo no es el factor más importante. Para disminuir el nivel de los ruidos de impacto, únicamente es necesario actuar sobre los recubrimientos del forjado o sobre un corte de los materiales.

Algunos códigos técnicos de la edificación diferencian entre impactos y vibraciones por su origen, los impactos son ruidos impulsivos y en las vibraciones se alcanza el estado estacionario. En ambos casos se estudian preferentemente los forjados, sobre los que actúan pisadas, golpes, desplazamientos de muebles, vibraciones de electrodomésticos. Otros focos importantes de ruidos estructurales son las instalaciones de climatización, de abastecimiento de agua, etc.

Hay muchas situaciones prácticas donde la excitación de una estructura se puede representar de forma aproximada por el impacto periódico de una masa sobre su superficie. Para la evaluación el aislamiento a los ruido de impactos de suelos en viviendas, se utiliza una máquina de impactos normalizada. La primera máquina utilizada fue en 1938, construida de acuerdo con la Norma DIN 4110.

La figura 14.1 muestra los diferentes caminos de transmisión de ruidos estructurales entre dos recintos. En el caso de locales situados uno encima del otro es habitual considerar, aparte del camino directo de transmisión, cuatro elementos constructivos de flancos. Si los locales están uno al lado del otro se suelen considerar dos elementos de flancos.

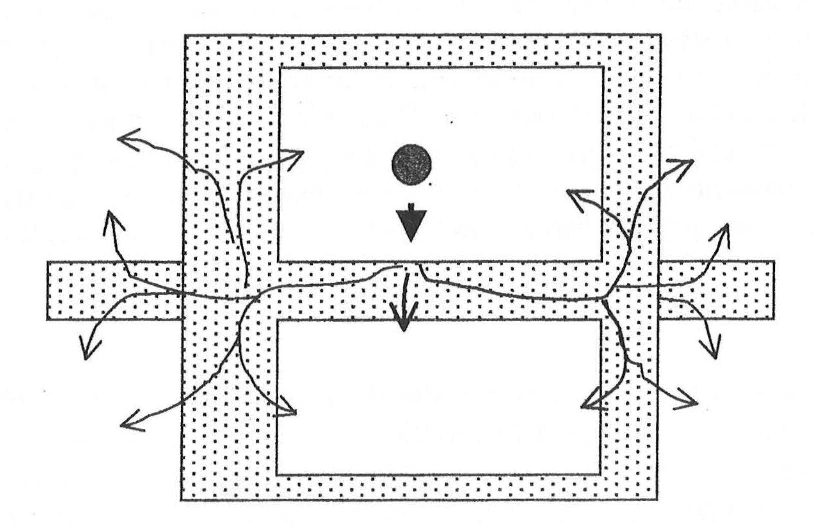


Figura 14.1: Caminos de transmisión de ruido estructural entre dos locales

La figura 14.2 muestra los niveles de presión acústica en el local subyacente medidos en una cámara de transmisión vertical de un laboratorio, producidos por diferentes tipos de impactos, sobre una losa de hormigón cubierta con baldosas cerámicas.

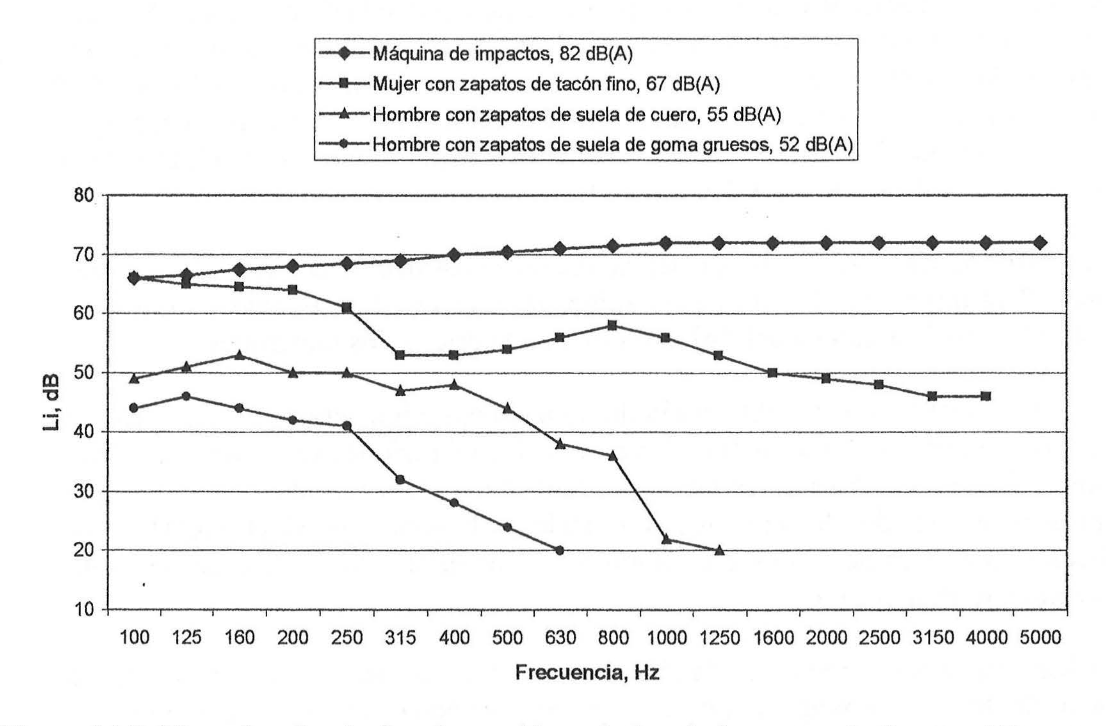


Figura 14.2: Ejemplos de niveles de presión acústica de impactos de fuentes diferentes.

14.2.- MAGNITUDES QUE CARACTERIZAN EL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO DE IMPACTOS.

14.2.1.- *Aislamiento a ruido de impactos en función de la frecuencia.*

Los métodos de medición del aislamiento a ruido de impactos de los edificios y de los elementos de construcción han sido normalizados mediante las Normas ISO siguientes:

EN ISO 140-6- *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 6: Mediciones en laboratorio del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.*
EN ISO 140-7- *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos.*
EN ISO 140-8 - *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte8: Medición en laboratorio de la reducción del ruido de impactos transmitido a través de revestimiento de suelos sobre forjado normalizado pesado.*
EN ISO 140-12 - *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte12: Medición en laboratorio de aislamiento al ruido aéreo y de impactos entre locales con suelo registrable.*

Las Normas anteriores proporcionan valores para el aislamiento a ruido de impactos *en función de la frecuencia.* Los ruidos de impacto se producen mediante una máquina de impactos autopropulsada normalizada. Esta consta de cinco martillos de 500 gramos situados en línea, que caen libremente desde una altura de 40 mm sobre la superficie de ensayo, cada 0,1 s.

a) Magnitudes que expresan el aislamiento acústico a ruido de impactos del edificio.

Para las *mediciones in situ* se definen las siguientes magnitudes, medidas en bandas de frecuencia (octava o tercios de octava):

Nivel normalizado de la presión acústica de impactos, L'_n
Es el nivel de presión acústica de impactos L_i medido en el recinto receptor, aumentado mediante un término de corrección, dado en decibelios, que es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el área de absorción acústica equivalente medida A, de la sala receptora, y el área de absorción acústica equivalente A_0 de referencia; se expresa en decibelios.

$$L'_n = L_i + 10.\lg\frac{A}{A_0} \quad dB \qquad [14.2]$$

donde $A_0 = 10$ m^2 en viviendas.

Nivel estandarizado de la presión acústica de impactos, L'_{nT}
Es el nivel de presión acústica de impactos L_i, reducido mediante un término de corrección, dado en decibelios, que es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el tiempo de reverberación medido en el recinto receptor y el tiempo de reverberación de referencia T_0, se expresa en decibelios:

$$L'_{nT} = L_i - 10.\lg\frac{T}{T_0} \quad dB \qquad [14.3]$$

para viviendas T_0 = 0,5 s.

Las dos magnitudes anteriores están relacionadas mediante la expresión siguiente

$$L'_{nT} = L'_n - 10.\lg\frac{0{,}16V}{A_0T_0} \quad dB = L'_n - 10\lg 0{,}32V \quad dB \qquad [14.4]$$

donde V es el volumen del recinto receptor en m^3.

Reducción del nivel de ruido de impactos, ΔL'
Es la diferencia, en decibelios, entre los niveles medios de presión acústica, en el recinto receptor antes y después de la instalación, por ejemplo, un recubrimiento del suelo.

b) Magnitudes que expresan el aislamiento acústico a ruido de impactos de los elementos constructivos.

Para las *mediciones en laboratorio* se definen las siguientes magnitudes, medidas en bandas de frecuencia (octava o tercios de octava):

Nivel de presión acústica de impacto normalizado, L_n
Es el nivel de presión de ruido de impactos L_i aumentado mediante un término de corrección, dado en decibelios, que es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el área de absorción acústica equivalente medido A del local receptor y el área de absorción acústica equivalente de referencia A_0; se expresa en decibelios.

$$L_n = L_i + 10.\lg\frac{A}{A_0} \quad dB \qquad [14.5]$$

donde
L_i ,es el nivel de presión acústica de impactos medio en bandas de frecuencia en el local receptor cuando el suelo bajo ensayo es excitado por la máquina de impactos normalizada, se expresa en decibelios. La absorción acústica equivalente del local receptor se determina utilizando la fórmula de Sabine del tiempo de reverberación, de acuerdo con la Norma EN 20354 (ISO 354). A_0 = 10 m^2

En laboratorio en el caso de suelos homogéneos y sin transmisiones por flancos, se han determinado las relaciones siguientes entre el índice de reducción acústica R y el nivel de presión acústica de impactos normalizado, L_n:

En bandas de octava: $$R + L_n = 43 + 30\lg\frac{f}{(1Hz)} \quad dB \qquad [14.6]$$

En bandas de tercio de octava: $$R + L_n = 38 + 30\lg\frac{f}{(1Hz)} \quad dB \qquad [14.7]$$

f es la frecuencia central de la banda de frecuencia, en Hercios.

Reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL (mejora del aislamiento a ruidos de impacto).
Es la reducción del nivel de presión acústica de impactos normalizado resultante de la instalación del recubrimiento de suelo objeto de ensayo.

$$\Delta L = L_{no} - L_n \ \text{dB} \qquad [14.8]$$

L_{no} es el nivel de presión acústica de impactos normalizado en ausencia de recubrimiento de suelo, en dB.
L_n es el nivel de presión acústica de impactos normalizado una vez instalado el recubrimiento de suelo, en dB.

14.2.2.- *Aislamiento a ruido de impactos de un único número.*

La Norma *UNE-EN ISO 717-2:1996. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos,* normaliza un método por el cual la dependencia en frecuencia del aislamiento a ruido de impactos pueda convertirse en un solo número.

Los métodos de medición del aislamiento al ruido de impactos de los edificios y de los elementos de construcción han sido normalizados en las Normas Internacionales ISO 140 indicadas en el apartado anterior. Estos métodos proporcionan valores para el aislamiento a ruido de impactos que son función de la frecuencia. La ISO 717-2 tiene por objetivo normalizar un método por el cual la dependencia en frecuencia del aislamiento a ruido de impactos pueda convertirse en un solo número que caracterice el aislamiento acústico y simplificar la formulación de los requisitos acústicos en los códigos de la edificación.

Para la aplicación de la ISO 717-2, se utilizan diferentes definiciones como las siguientes:

- *Magnitud global para la valoración del aislamiento al ruido de impactos derivada de mediciones en bandas de tercio de octava.* Es el valor en dB, a 500 Hz de la curva de referencia una vez ajustada a los valores experimentales según el método especificado en esta parte de la ISO 717. Existen magnitudes globales de las propiedades globales de aislamiento al ruido de impactos de elementos de construcción, como por ejemplo el nivel normalizado ponderado de la presión acústica de impactos, $L_{n,w}$; y magnitudes globales del aislamiento a ruido de impactos entre habitaciones en edificios tales como el nivel normalizado ponderado de la presión acústica de impactos, $L'_{n,w}$; y nivel estandarizado ponderado de la presión acústica de impactos $L'_{nT,w}$.

- *Magnitud global para valoración del aislamiento a ruidos de impactos a partir de mediciones en bandas de octava.* Es el valor en dB, a 500 Hz de la curva de referencia una vez ajustada a los valores experimentales según las especificaciones de la Norma ISO 717, disminuida en 5 dB.

- *Reducción ponderada del nivel de presión acústica de impactos*: Es la diferencia entre los niveles ponderados de la presión de impactos normalizada de un suelo de referencia sin y con un revestimiento del suelo, obtenidos con el método especificado en esta parte de la Norma ISO 717. Esta magnitud se designa con ΔL_w y se expresa en dB.

- *Término de adaptación espectral C_I*: Es el valor, en dB, que ha de añadirse al valor de la magnitud global para tener en cuenta la carencia de ponderación del nivel acústico de impactos, por lo cual representa las características de espectro del ruido de pasos.

El procedimiento para la evaluación de magnitudes globales es el mismo para todas ellas y lo utilizaremos por ejemplo en el caso de $L'_{nT,w}$.

- *Nivel estandarizado ponderado de la presión acústica de impactos $L'_{nT,w}$.*

a) Mediciones en bandas de tercio de octava.
Para valorar los resultados de una medición de L'_{nT} en bandas de tercio de octava, con precisión de 0,1 dB, se desplaza la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor de 32,0 dB, para mediciones en 16 bandas de tercio de octava entre 100 Hz y 3150 Hz.

Se produce una desviación desfavorable en una determinada banda de frecuencia cuando el resultado de la medición supera al valor de referencia. Únicamente se consideran las desviaciones desfavorables. *El valor, en dB, de la curva de referencia a 500 Hz, después del desplazamiento, es el valor de $L'_{nT,w}$*

b) Mediciones en bandas de octava.
Para valorar los resultados de una medición in situ de L'_{nT} en bandas de octava, con una cifra decimal significativa, con precisión de 0,1 dB, se desplaza la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor de 10,0 dB.

Se produce una desviación desfavorable en una determinada banda de frecuencia cuando el resultado de la medición supera al valor de referencia. Únicamente se consideran las desviaciones desfavorables. *El valor, en dB, de la curva de referencia a 500 Hz, después del desplazamiento, y disminuida en 5 dB es el valor de $L'_{nT,w}$*

Para mediciones in situ, debe indicarse si la magnitud global se ha calculado a partir de los resultados de la medición en bandas de octava o de tercio de octava, pues hay diferencia en los resultados obtenidos.

La Tabla 14.1 muestra los valores de referencia para ruidos de impacto, en dB, para bandas de tercio de octava y octava.

Frecuencia, Hz	Valores de referencia, dB	
	Bandas de tercio de octava	Bandas de octava
100	62	
125	62	67
160	62	
200	62	
250	62	67
315	62	
400	61	
500	60	65
630	59	
800	58	
1000	57	62
1250	54	
1600	51	
2000	48	
2500	45	49
3150	42	

Tabla 14.1:Valores de referencia para ruido de impacto.

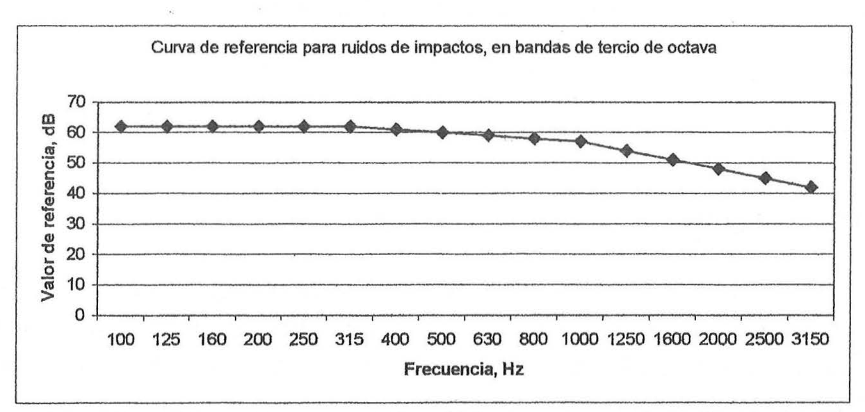


Figura 14.3: Curva de referencia para ruidos de impactos, en bandas de tercio de octava.

14.3.-MEJORA DEL AISLAMIENTO A RUIDO DE IMPACTOS

Como en cualquier problema de control del ruido se puede actuar sobre la fuente del ruido, los caminos de propagación y en el local receptor. Para aislar los ruidos de impactos en el caso de forjados es preciso colocar recubrimientos elásticos y flexibles para reducir el valor de la fuerza transmitida. En la práctica, experimentos realizados con losas de hormigón de diferentes espesores, muestran que el aumento de la masa del suelo no afecta de forma importante a la disminución de los niveles de presión de ruidos de impacto. Algunos procedimientos para mejorar el aislamiento contra los ruidos de impacto son los siguientes:

a) - Cubiertas amortiguadoras
Están formadas por capas de materiales con gran capacidad de deformación. Amortiguan la energía del impacto, reducen la potencia acústica transmitida al suelo estructural, pero no mejoran el aislamiento acústico a ruido aéreo del sistema. En

general son materiales de reacción localizada, que disminuyen de forma importante la energía del impacto sobre el elemento estructural que cubren. En el caso de cubiertas amortiguadoras tales como, alfombras y moquetas, se puede superar la eficacia como amortiguadores de ruido de impactos de los suelos flotantes.

El tratamiento con una superficie elástica de la cara superior de un suelo estructural aumenta de forma importante su aislamiento contra el ruido de impactos, pero no aumenta el aislamiento frente a los ruidos aéreos.

b) Suelos flotantes

Un suelo flotante es aquel que se apoya sobre un suelo estructural, pero que está completamente separado de éste mediante elementos elásticos y flexibles, de manera que ningún punto del suelo flotante está en contacto con el suelo estructural. La realización de un suelo flotante es una buena solución constructiva para aumentar el aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos y disminuir el nivel de ruido de impactos en los locales contiguos.

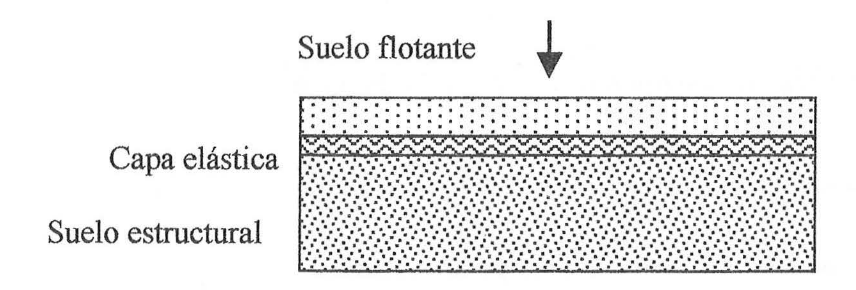


Figura 14.4: Esquema de un suelo flotante

Los impactos sobre el suelo flotante le hacen vibrar, pero el apoyo elástico, hace que únicamente una parte de la energía vibratoria se transmita al suelo estructural. En consecuencia, el suelo estructural radia menos energía al recinto subyacente, que en caso que el impacto se realizase sobre el suelo estructural.

El conjunto formado por el suelo flotante y la capa elástica puede considerarse como un sistema masa-muelle-amortiguador, y en consecuencia el desacoplamiento entre ambos suelos depende de la frecuencia.

Para calcular la reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL de suelos flotantes, en ausencia de datos medidos en laboratorio, se pueden utilizar las siguientes expresiones:

Suelos flotantes hechos de arena/cemento o sulfatos de calcio.
La reducción del nivel de presión acústica puede calcularse mediante la expresión:

$$\Delta L = 30 \lg \frac{f}{f_0} \quad dB \qquad [14.9]$$

donde
f es la frecuencia central de la banda de tercio de octava, en Hz; f_0 es la frecuencia de resonancia del sistema, en Hz, que se obtiene de la fórmula

$$f_0 = 160\sqrt{\frac{s'}{m'}} \quad Hz \qquad [14.10]$$

s'es la rigidez dinámica por unidad de área de la capa elástica, según la Norma EN 29052-1 Acústica. Determinación de la rigidez dinámica. Parte 1: Materiales utilizados bajo suelos flotantes en viviendas, medidos sin ninguna carga, en MN/m^3. m'es la densidad superficial del suelo flotante, en kg/m^2.

Suelos flotantes asfálticos o suelos flotantes secos.
La reducción del nivel de presión acústica puede calcularse mediante la expresión:

$$\Delta L = 40 \lg \frac{f}{f_0} \quad dB \qquad [14.11]$$

En el caso que haya dos o más capas elásticas que cubran todo el suelo sin separaciones ni cortes, la rigidez dinámica total resultante por unidad de área se debe calcular mediante la expresión

$$s' = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{s_i'}\right)} \qquad [14.12]$$

Por ejemplo, la rigidez dinámica de la lana mineral s'= 8 MN/m^2.

Para frecuencias inferiores a $2\sqrt{f_0} \quad Hz$, el suelo flotante y el suelo estructural están acoplados y las mejoras del aislamiento acústico al ruido aéreo son debidas únicamente al aumento de la masa del suelo flotante. Se suelen elegir frecuencias de resonancia inferiores a 20 Hz.

El suelo flotante se puede apoyar sobre aisladores comercializados, apoyados en puntos o en líneas. También es habitual el uso de capas continuas de capas semirrígidas de lana de roca o fibra de vidrio. Los aisladores y la lana deben ser elegidos de acuerdo con la carga aplicada. Hay que considerar la deflexión de la capa elástica blanda sobre la que se apoya el pavimento. Esta capa elástica debe separar las paredes del pavimento.

El suelo flotante reduce el ruido en las salas emisora y receptora. Disminuye los caminos directos e indirectos a través del suelo.

Un caso particular de suelo flotante es la *losa flotante*, formada por una capa de mortero armado con mallazo y cuyo espesor varía de 5 a 8 cm.

Para garantizar una disminución en el nivel de ruidos de impacto en el local subyacente, la correcta realización práctica del suelo flotante conlleva:

- Perfecta limpieza del suelo estructural, evitando cualquier tipo de punzamiento de la capa elástica.
- Total continuidad de la capa elástica. Se aconseja solapes de al menos 10 cm.
- Ausencia de contactos del suelo flotante con las paredes perimetrales y los rodapiés.
- Ausencia de dobleces en la capa elástica.
- Al realizar la losa flotante, hay que proteger la capa elástica con una lámina de plástico impermeable, capa de papel embreado o graso, que impida el paso de la humedad y derrames del mortero. Si penetran en el material elástico y flexible lo vuelven rígido.

- Ausencia de puentes acústicos.
- Diseñar correctamente los detalles de las canalizaciones, con el fin de evitar conexiones rígidas.

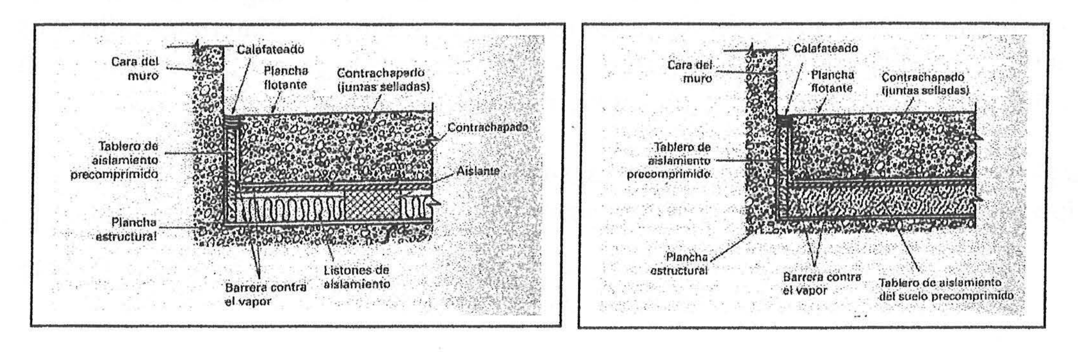


Figura 14.5: Ejemplos de construcción de una losa flotante, a) sobre aisladores comercializados, b) sobre una manta de lana de roca o fibra de vidrio.

La realización de las losas flotantes es una tarea delicada y exige muchos cuidados tanto de los trabajadores que la realizan como de los que tienen que colocar posteriormente los revestimientos del suelo, paredes, rodapiés, etc. Si la losa presenta defectos de realización son muy difíciles de eliminar, y es necesario hacer otra nueva. En la figura 14.6 se muestran algunos detalles de realización para el correcto funcionamiento de un suelo flotante.

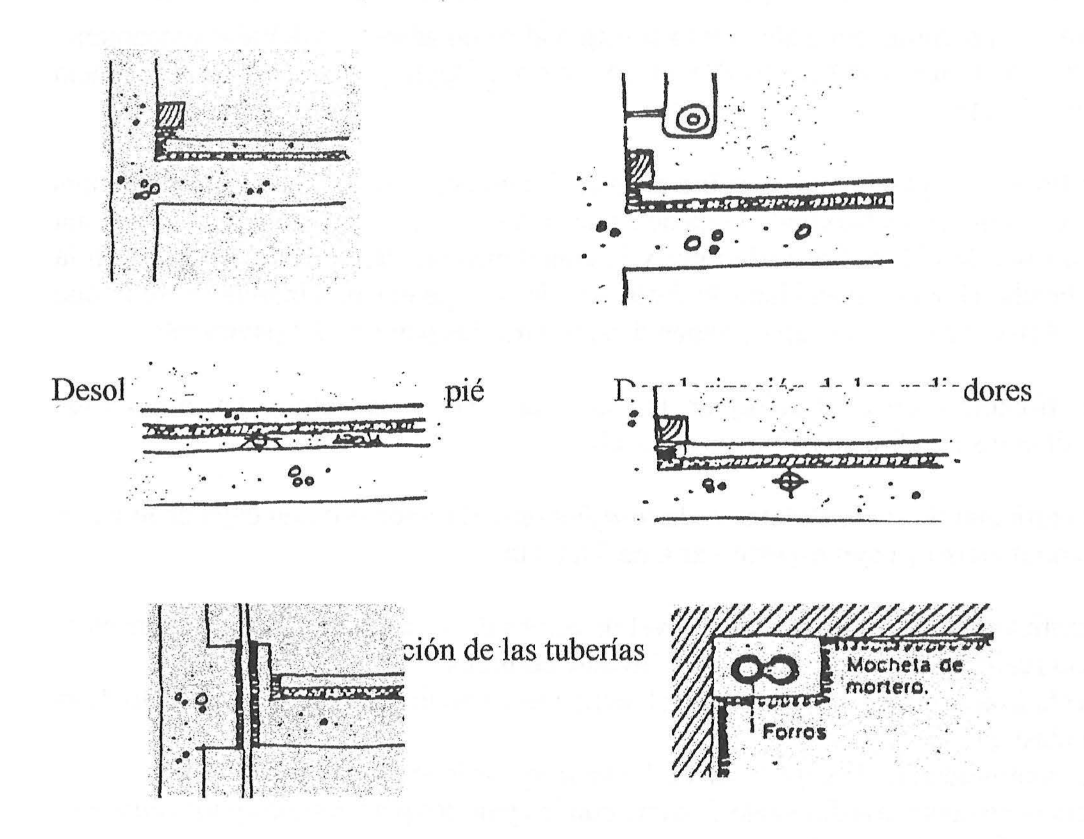


Figura 14.6: Detalles constructivos para una realización correcta de un suelo flotante.

La figura 14.7 muestra algunos de los defectos más habituales en la realización de un suelo flotante.

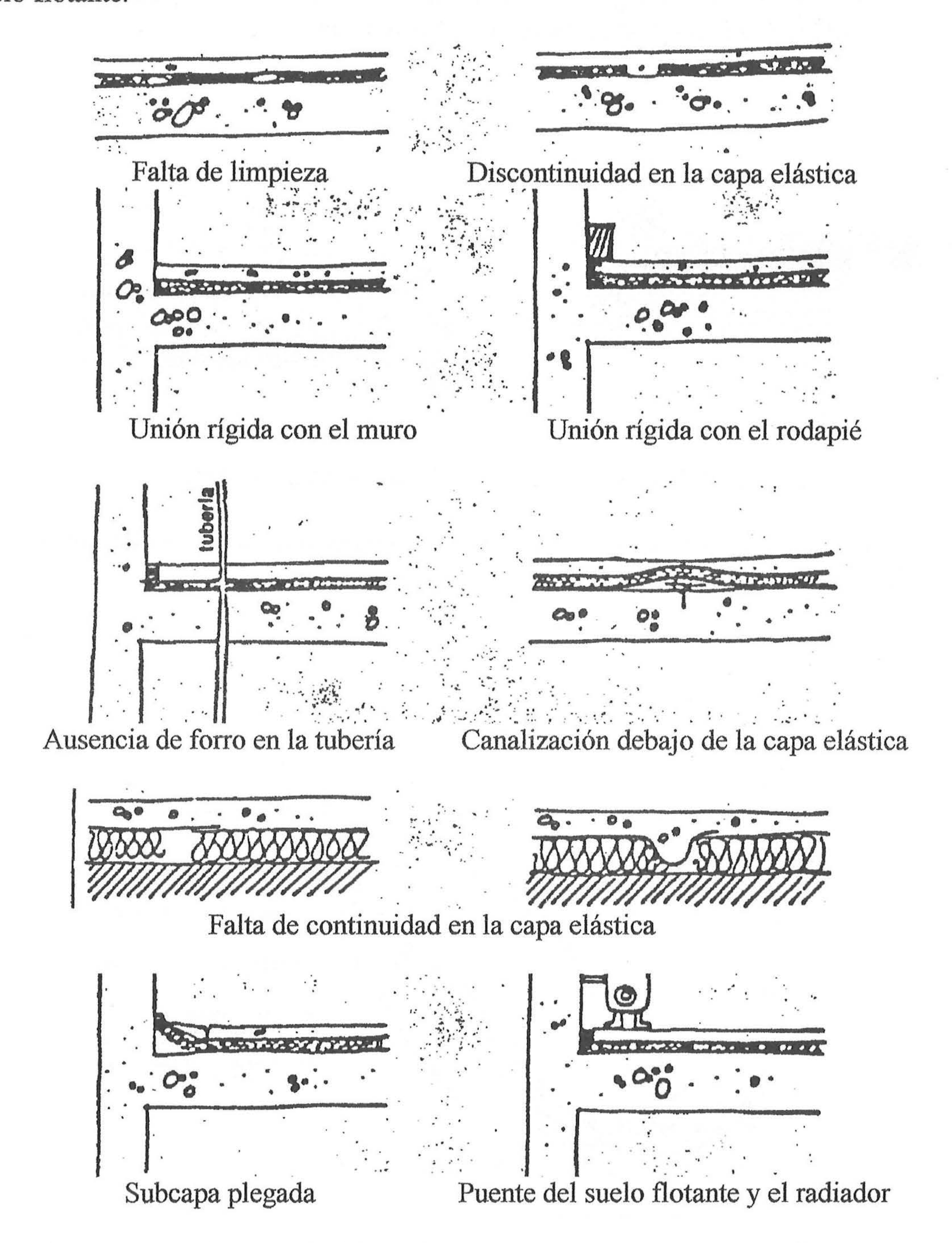


Figura 14.7: Defectos más habituales en la realización de un suelo flotante.

Parquet flotante

Los parquets colocados sobre el suelo estructural, bien por medio de durmientes o bien por encolado, aportan una ligera mejora del aislamiento de los ruidos de impacto, debido a la diferencia de elasticidad entre la madera y el suelo estructural. Los parquets encolados directamente sobre el suelo estructural son menos eficaces contra el ruido de impactos que los colocados sobre durmientes. Los suelos de tablas de madera sobre durmientes de madera, son eficaces en la mejora del aislamiento acústico a ruido aéreo

y reducen el nivel de ruido de impactos, en especial cuando se rellenan por debajo de las tablas con material poroso. La figura 14.8 muestra la realización de un parquet flotante sobre placas de fibra mineral y un suelo de tablas de madera.

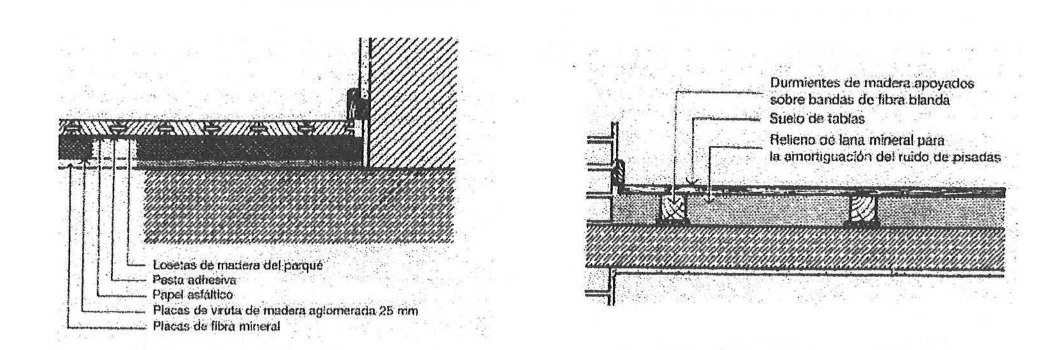


Figura 14.8: Parquet flotante y suelo de tablas de madera.

La figura 14.9 muestra los resultados medidos en laboratorio de la mejora del nivel de ruido de impactos ΔL de varios tipos de colocación de parquet.

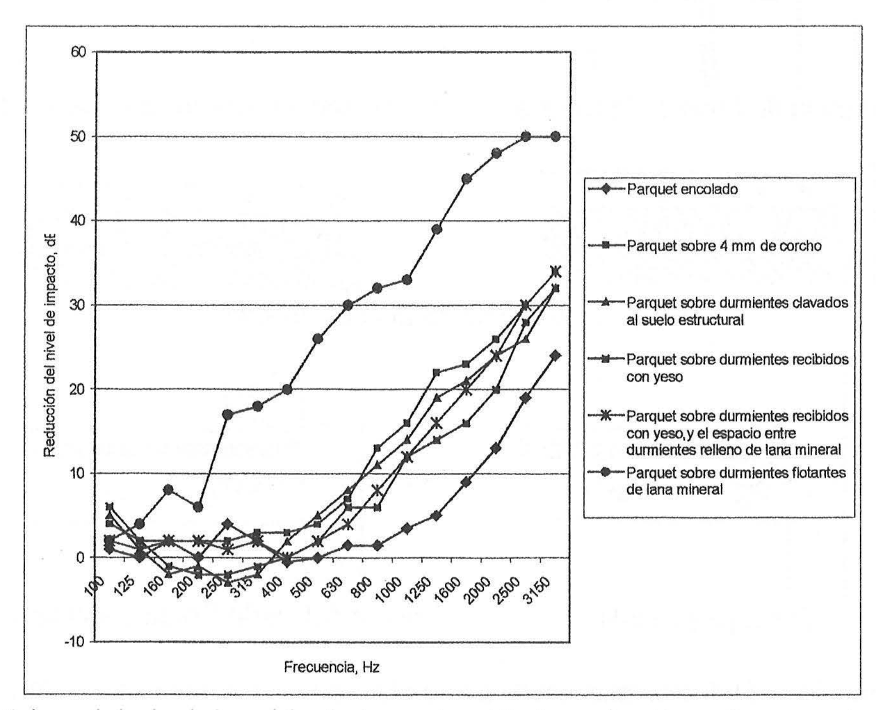


Figura 14.9: Mejora del nivel de ruido de impactos ΔL de varios tipos de parquet.

c) Falsos techos

Son otro dispositivo que contribuye a reducir el ruido producido por los impactos. Como se observa en la primera figura de esta lección, reduce la transmisión directa a través del suelo, pero prácticamente no afecta a las transmisiones indirectas.

Los falsos techos suspendidos elásticamente se cuelgan del techo estructural o de otra estructura mediante cables o varillas que incorporan aisladores que reducen la

transmisión de las vibraciones del suelo estructural al techo suspendido. Mejoran el aislamiento acústico a ruido aéreo y al ruido de impactos. Por regla general, el hecho de colocar un falso techo no evita la existencia de transmisiones indirectas.

Los falsos techos son menos eficaces, para reducir el ruido de impactos, que los suelos flotantes y las cubiertas amortiguadoras.

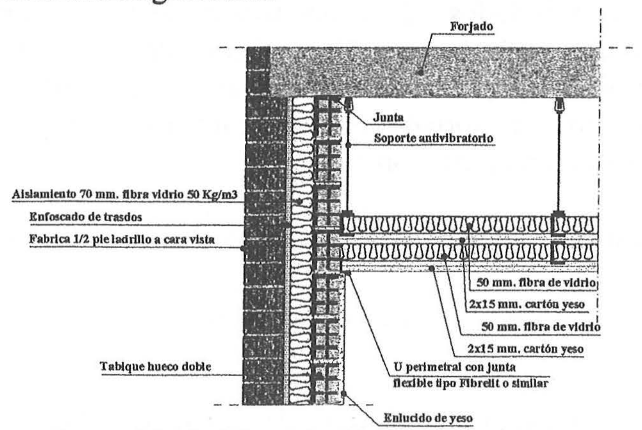


Figura 14.10: Ejemplo de un techo flotante.

De menor a mayor efectividad contra el ruido de impactos se pueden relacionar las siguientes construcciones suelo-techo:

Alfombra o moqueta sobre el suelo estructural.

↓

Alfombra o moqueta sobre el suelo estructural y techo suspendido elásticamente..

↓

Alfombra o moqueta sobre losa de hormigón flotante sobre el suelo estructural.

↓

Alfombra o moqueta sobre losa de hormigón flotante sobre el suelo estructural y techo suspendido elásticamente.

En la figura 14.11 se muestran los resultados de mediciones en laboratorio de la mejora del nivel de ruido de impactos de algunos forjados de piso.

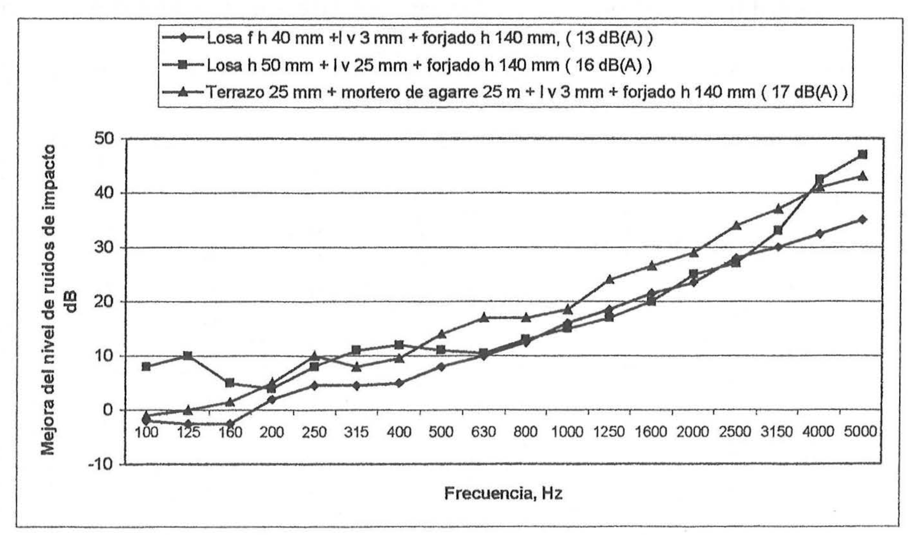


Figura 14.11: Mejora del nivel de ruido de impactos de algunos forjados de piso

14.4 - CÁLCULO DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO DE IMPACTOS ENTRE DOS RECINTOS SEGÚN EL MODELO SIMPLIFICADO PROPUESTO POR LA NORMA UNE-EN 12354-2,(ENERO 2001)

El modelo simplificado de cálculo predice el nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado a partir de los valores ponderados de los elementos constructivos involucrados, determinados según los procedimientos de ponderación de la Norma EN ISO 717-2: 1996. El modelo se aplica a recintos situados uno sobre el otro, del tamaño habitual en viviendas, con un forjado básico homogéneo con suelos flotantes o recubrimientos blandos sobre forjados homogéneos.

El nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado $L'_{n,w}$ viene dado por la expresión

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \text{ dB} \qquad [14.13]$$

donde
K es la corrección para transmisión acústica de impactos sobre construcciones de flancos homogéneas en dB. Los valores de K se dan en la tabla siguiente.

$L_{n,w,eq}$ es el nivel de presión acústica ponderada de impactos normalizado equivalente del forjado base. Para forjados homogéneos puede calcularse a partir de la densidad superficial m′ en el rango de valores entre 100 y 600 kg/m^2 a partir de la fórmula

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35\lg\frac{m'}{1kg/m^2} \quad dB \qquad [14.14]$$

La expresión anterior es válida para forjados homogéneos sin huecos(hormigón macizo fabricado in situ, hormigón aireado fabricado en autoclave) y con huecos (de ladrillo perforado, vigas y bovedillas, losas de hormigón anchas, vigas de hormigón).

ΔL_w es la reducción del nivel de presión acústica ponderado de impactos del recubrimiento del forjado. La información sobre los valores de la mejora del aislamiento a ruido de impactos ponderado de suelos flotantes se muestra en figuras posteriores.

Corrección K para transmisiones indirectas, dB									
Densidad superficial del elemento separador (forjado), kg/m^2	Densidad superficial media de los elementos de flancos no cubiertos con una capa adicional, kg/m^2								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600	5	4	3	2	2	1	1	1	1
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

Tabla 14.2: Corrección K para las transmisiones indirectas

En los casos habituales el número de elementos de flancos a considerar es 4. Si se cubren una o más elementos constructivos de flancos con capas adicionales, (paredes revestidas), con una frecuencia de resonancia $f_0 < 125$ Hz, las densidades superficiales de los elementos constructivos cubiertos no se tiene en cuenta en el cálculo de los valores de la masa media.

Reducción del nivel de presión acústica ponderado de impactos ΔL_w de suelos flotantes.

1) Suelos flotantes construidos de arena/cemento o sulfato cálcico

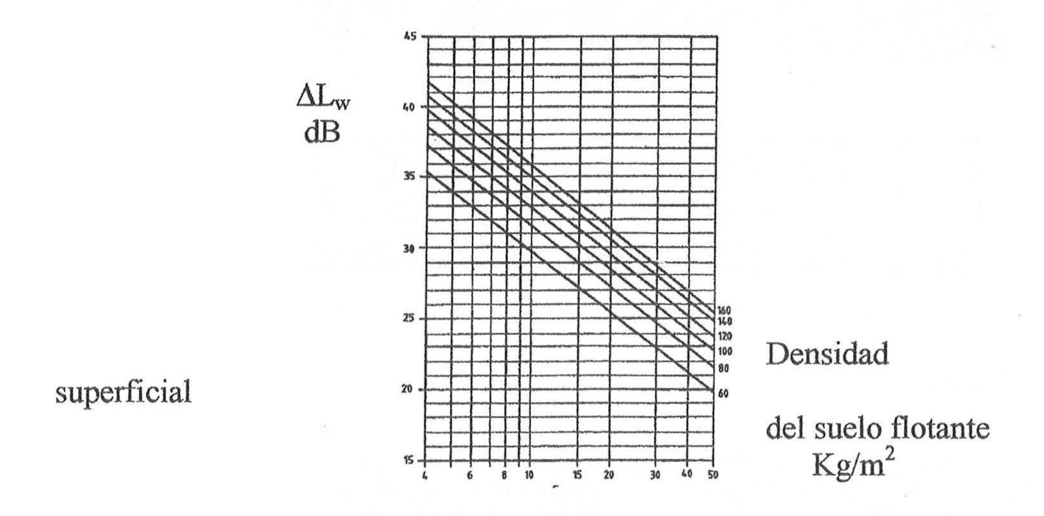


Figura 14.12: ΔL_w de suelos flotantes de arena/cemento o sulfato cálcico

2) Suelos flotantes hechos a base de asfalto o suelos flotantes secos.

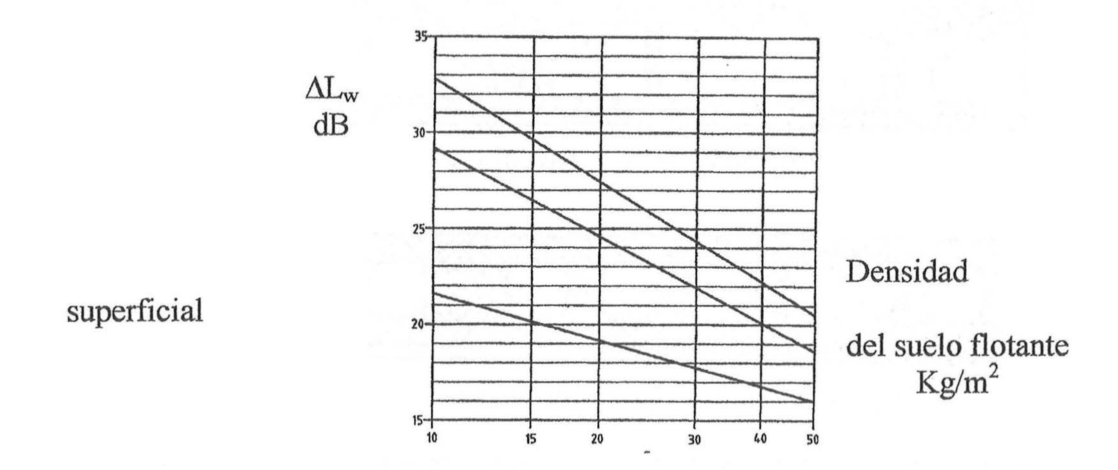
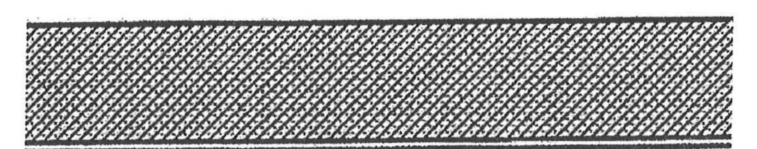


Figura 14.13: ΔL_w de suelos flotantes secos

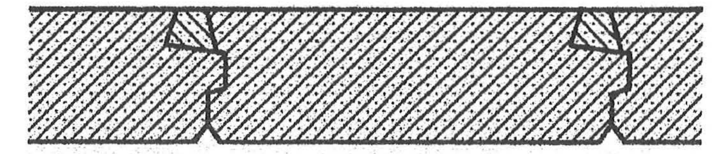
Los valores del nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado $L'_{n,w}$, obtenidos mediante cálculo según el modelo simplificado están en un intervalo de ± 4 dB con respecto a los valores medidos.

TIPOS BÁSICOS DE FORJADOS QUE SE COMPORTAN COMO HOMOGÉNEOS

1) Forjados sin huecos

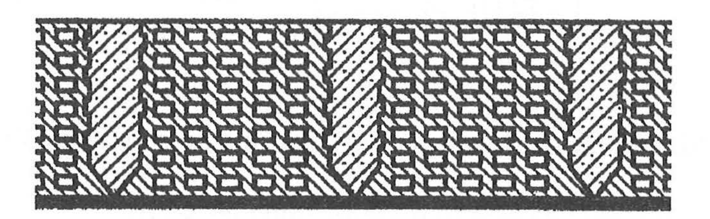


Forjado de hormigón macizo fabricado in situ

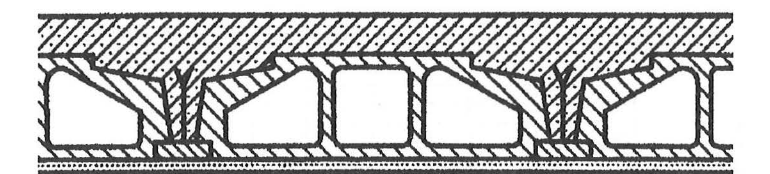


Forjado de hormigón aireado fabricado en autoclave

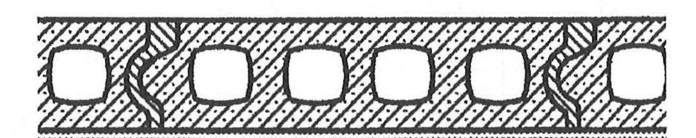
1) Forjados con huecos



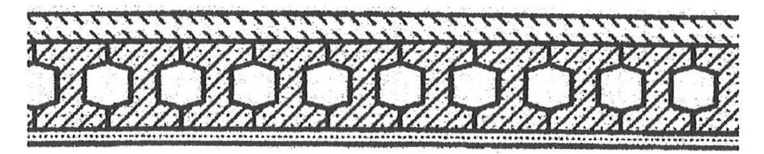
Forjado de ladrillo perforado



Forjado de vigas y bovedillas



Forjado de losas de hormigón anchas



Forjado de vigas de hormigón

Figura 14.14: Forjados que se comportan como homogéneos

14.5.- EL AISLAMIENTO AL RUIDO DE IMPACTOS Y LA NBE-CA- 88

La NBE-CA-88 en el capítulo III. *Condiciones exigibles a los elementos constructivos*, en el Artículo 14 establece que el nivel de ruido de impacto normalizado L_n en el espacio subyacente no será superior a 80 dB(A), con la excepción de que estos espacios sean exteriores o no habitables como porches, cámaras de aire, garajes, almacenes o salas de máquinas. En el artículo 15 establece, que en caso de azoteas transitables, el nivel de ruido de impacto normalizado L_n en el espacio subyacente no será superior a 80 dB(A), con la excepción de que estos espacios sean no habitables como trasteros y salas de máquinas.

La expresión del nivel de presión de ruido de impactos normalizado, L_n, se aplica a cada banda de frecuencia. Los niveles obtenidos se ponderan con la curva A y se componen para obtener el valor nivel total resultante. Este no debe superar 80 dB(A).

$$L_n = L_i + 10.\lg\frac{A}{A_0} \quad dB$$

donde $A_0 = 10\ m^2$

La NBE-CA- 88 en su apartado 3.3 establece que en ausencia de ensayo, que el nivel de ruido de impacto normalizado L_n en el espacio subyacente, considerando un aislamiento al ruido aéreo R del elemento separador horizontal, se determinará mediante la ecuación:

$$L_n = 135 - R \quad dB(A)$$

Las soluciones constructivas que cumplan lo establecido en la NBE-CA-88 respecto al ruido aéreo, y no cumplan por el contrario la exigencia relativa al ruido de impacto, se deberán complementar con solado amortiguador o flotante y/o techo acústico cuya mejora se determinará mediante ensayo. Por ejemplo, un elemento horizontal de separación entre propiedades o usuarios distintos que tenga un aislamiento al ruido aéreo de 45 dB(A), satisface las exigencias de aislamiento a ruido aéreo, pero el nivel de ruido de impacto normalizado L_n en el espacio subyacente es 90 dB(A), claramente superior al valor máximo permitido de 80 dB(A).

No obstante y en ausencia de ensayo, la NBE-CA-88, la mejora de aislamiento a ruido de impacto se establecerá de acuerdo con lo expuesto en la tabla 14.3.

Según un trabajo realizado por el Laboratorio de Acústica de la ETSAM, UPM de mediciones in situ en cerca de un centenar de viviendas, en el caso de forjados unidireccionales de hormigón armado y con bovedilla cerámica sin solado amortiguador. Las relaciones experimentales entre el nivel de presión acústica de impactos normalizado en el recinto subyacente y el aislamiento a ruido aéreo entre los recintos separados horizontalmente es

$$L'_n + R'_A = 130\ dB(A)$$

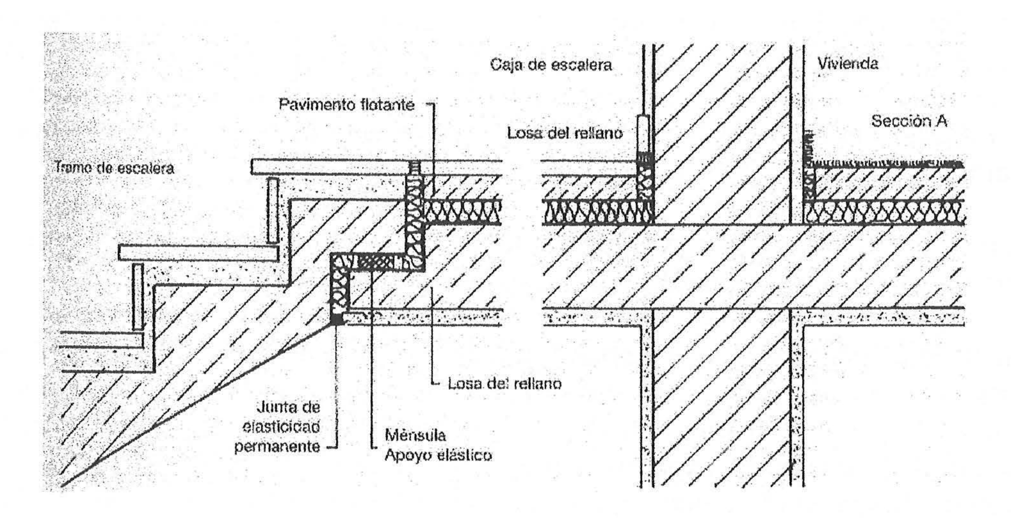
La relación experimental entre el nivel normalizado de presión acústica de impactos, $L'_{n,w}$ y el índice ponderado de reducción acústica aparente a ruido aéreo R'_w, para el caso anterior es

$$L'_{n,w} + R'_w = 126\ dB$$

Solución constructiva	Mejora de aislamiento a ruido de impacto en dB(A)
Pavimentos	
Plástico(PVC, amianto vinilo)	2
Flotante de hormigón sobre fieltro	6
Plástico sobre corcho	7
Plástico sobre fieltro	8
Parquet de corcho	10
Plástico sobre espuma	11
Flotante de hormigón sobre fibra mineral	15
Flotante de hormigón sobre planchas elastificadas de poliestireno expandido	16
Moqueta	16
Flotante de parquet	18
Moqueta sobre fieltro	20
Moqueta sobre espuma	22
Techos	
Falso techo flotante(12 kg/m^2)	10

Tabla 14.3: Mejora del aislamiento a ruido de impacto según la NBE-CA-88.

Ejemplo: Tratamiento de los tramos de escalera y rellanos de las misma, según la Norma DIN 4109, para disminuir los ruidos producidos al subir y bajar los peldaños de las escaleras.



15 CRITERIOS DE CALIDAD ACÚSTICA EN ESPACIOS CERRADOS.

15.1.- INTRODUCCIÓN

La mayoría de los seres humanos se encuentran inmersos en un ambiente ruidoso en su vida cotidiana: en la vivienda, durante las horas de trabajo y ocio, desplazamientos, etc. Las personas varían su comportamiento ante el ruido, dependiendo del lugar en que se encuentren, instante de tiempo y su estado anímico.

El estudio del ruido como problema social se inicio en las ciudades de San Francisco y New York alrededor de 1.930. A lo largo de los años se han realizado en diferentes países encuestas a la población expuesta a una serie de ruidos objetivos, que interferían de forma directa o indirecta con la comunicación, concentración en el trabajo, descanso, desarrollo de una actividad, pérdida de audición, etc. De la respuesta subjetiva de las personas con los valores objetivos del ruido, se han elaborado una serie de criterios, para determinar que niveles de ruido son aceptables o no, según el lugar, hora y actividad. Los criterios se pueden subdividir básicamente en tres tipos: exposición de la comunidad al ruido urbano, exposición al ruido ocupacional y de calidad acústica en espacios cerrados.

Los criterios de calidad acústica en recintos cerrados pueden utilizarse como objetivo a conseguir en el diseño del mismo, o como valores máximos del ruido en su interior para el desarrollo de una actividad determinada en él.

Uno de los principales objetivos de diseño en un recinto es que la inteligibilidad de la palabra hablada sea la adecuada. Por ello es importate conocer que niveles acústicos producen disminución de la inteligibilidad de la palabra en un recinto.

La mayoría de los criterios de valoración del ruido nos muestran una evaluación del mismo mediante unos índices, expresados mediante curvas de niveles de presión acústica, que permiten asignar al espectro en frecuencias de un ruido, medido en bandas de octava, un solo número correspondiente a la curva que queda por encima del espectro del ruido analizado.

Un criterio para el control del ruido en aeronaves fue desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial, en 1.950 se elaboró el primer criterio de interferencia entre niveles de ruido y la palabra en oficinas y fábricas, y en 1.952 las curvas de valoración SC (Speech Communication). En apartados posteriores se expondrán algunos de los criterios mas habituales de valoración del ruido.

15.2 - INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA HABLADA

El hombre intercambia información (experiencias, sentimientos, ideas, etc) con sus semejantes gracias a la comunicación. Este proceso también se establece entre otros animales no racionales, o entre las máquinas. Las personas podemos establecer comunicación utilizando diversos medios (señales, perfumes, etc.), pero básicamente utilizamos los lenguajes oral y escrito.

El lenguaje oral es un medio de comunicación humano muy importante, que consiste en la facultad de comunicarse mediante signos lingüísticos. Las palabras son signos lingüísticos que pueden descomponerse en unidades mínimas con significación llamadas monemas. Los monemas pueden descomponerse en unidades mínimas sin significación llamadas fonemas.

La habilidad de nuestro órgano de la audición para reconocer los sonidos de la palabra hablada es muy grande. La palabra hablada puede ser seguida a velocidades de hasta 400 palabras por minuto. Si consideramos un promedio de cinco fonemas o sonidos individuales por palabra, esto significa un reconocimiento de 30 fonemas por segundo. Una conversación normal requiere el reconocimiento de entre 10 y 15 fonemas por segundo.

La inteligibilidad de la palabra hablada es un factor subjetivo que nos permite determinar la capacidad para entender la señal hablada emitida. Algunos factores que afectan a la inteligibilidad son controlables y otros no. Los factores que afectan de forma muy importante a la inteligibilidad de la palabra hablada son: el espectro y la estructura temporal del habla y del ruido, la reverberación de la sala, el nivel sonoro del emisor, la distancia entre el emisor y el receptor, factores lingüísticos y psíquicos de las personas que emiten y reciben el mensaje, etc. La inteligibilidad de la palabra puede medirse directamente, o puede predecirse a partir de medidas físicas del habla, ruido y tiempo de reverberación. En cada punto de una sala, la inteligibilidad de la palabra varía con el nivel del ruido y el tiempo de reverberación.

La forma mas directa y representativa para evaluar la inteligibilidad de la palabra en una sala es mediante ensayos orador-oyente. Este tipo de ensayos también se utilizan para comparar los resultados obtenidos por otros métodos. El procedimiento consiste en que un orador emite una lista de sílabas, palabras o frases fonéticamente equilibradas que sean representativas del idioma, un grupo de oyentes las anotan y el porcentaje de las registradas correctamente nos da el Indice de Pronunciación. Este procedimiento es lento y caro.

Existen varios métodos de predicción de la inteligibilidad de la palabra a partir de parámetros físicos del ruido, de la palabra y de la sala. Entre los mas conocidos están el Indice de Articulación, AI; el Nivel de Interferencia de la Palabra, SIL; la Relación Señal Ruido ponderado A, el Indice de Transmisión de la Palabra, STI y su método abreviado RASTI; Perdida de Articulación de Consonantes, Al_{cons}. La figura 15.1 muestra la relación experimental entre el índice RASTI y los ensayos orador-oyente.

Se han establecido relaciones entre el tiempo de reverberación y la inteligibilidad. La inteligibilidad disminuye con el aumento del tiempo de reverberación de la sala, y tiempos de reverberación muy cortos, no siempre aseguran una buena inteligibilidad.

Algunas legislaciones, considerando que los niveles acústicos producidos por los ruidos exteriores o interiores al recinto son bajos, controlan la inteligibilidad en el mismo ajustando el tiempo de reverberación, bien según el volumen del recinto o el tipo de actividad que se desarrolle en el mismo: docente, restaurantes y comedores en edificios de pública concurrencia, etc.

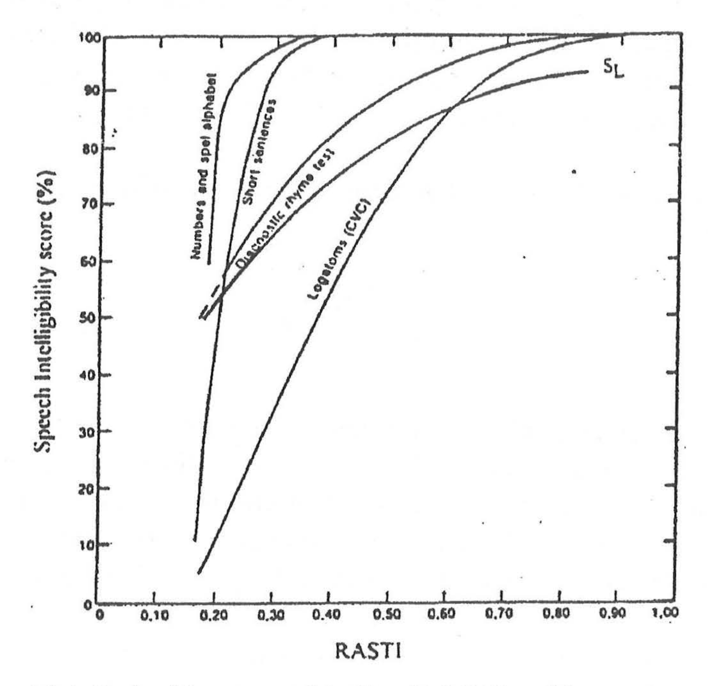


Figura 15.1: Relación entre el índice RASTI y diferentes ensayos de inteligibilidad de la palabra orador-oyente.

15.2.1.- *Nivel de presión acústica con ponderación A*

Los niveles de presión acústica ponderados A pueden emplearse para predecir las distancias máximas permitidas entre un orador y un oyente, para que la comunicación oral sea mínimamente fiable en presencia de un ruido de fondo. La comunicación oral es mínimamente fiable cuando con oyentes entrenados se obtiene una puntuación mínima del 70% en los ensayos orador-oyente con listas de palabras monosilábicas fonéticamente equilibradas, esto se corresponde con más de un 90% de aciertos en las pruebas de inteligibilidad con frases.

Este procedimiento no se aplica en los casoso siguientes: el espectro del ruido de fondo de cada una de las bandas de octava difiere en más de 10 dB del valor medio, el ruido no es estacionario o varía en más de 10 dB ponderados A en el transcurso del tiempo, el tiempo de reverberación del recinto supera los 2 segundos, el sistema de apoyo electroacústico no proporciona una respuesta en frecuencias lo suficientemente plana.

La relación palabra-ruido ponderada A se determina a partir de la diferencia entre los niveles de presión acústica de la palabra y del ruido, ambos ponderados A.

$$L_{pA(S/N)} = L_{pA(Señal)} - L_{pA(Ruido)}$$

15.2.2 - N*ivel de interferencia de la palabra (SIL)*

Este índice fue propuesto por Beranek (1.954) para medir la inteligibilidad de la palabra en las cabinas de los aviones. Se definio como la media aritmética de los niveles de presión acustica en las bandas de octava centradas en 600, 1200 y 4800 Hz. En 1.960 se

modificaron las frecuencias preferibles para el análisis y también la definición de SIL. El nuevo método propuesto por Klumpp y Webster fue llamado Nivel Preferido de Interferencia da la Palabra (PSIL) o también método de las tres bandas y se basó en las medidas realizadas en las bandas de octava de 500, 1.000 y 2.000 Hz .

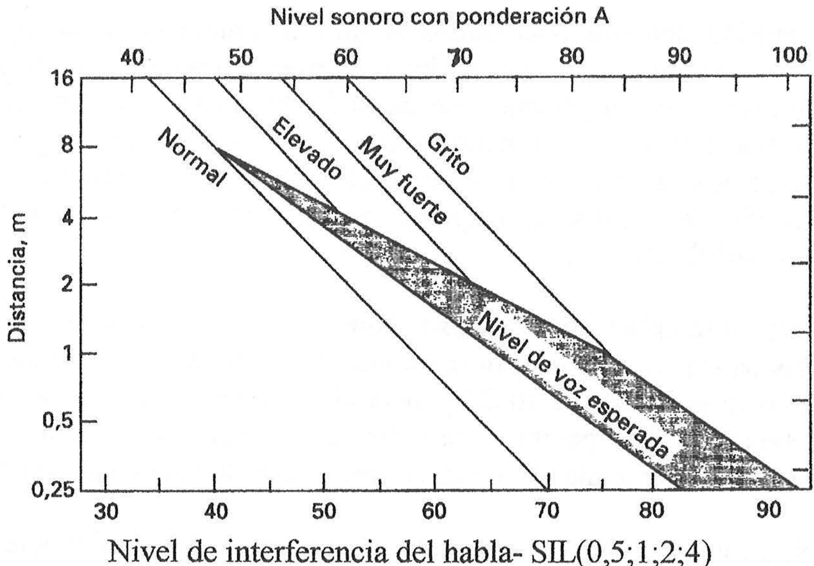
El nivel SIL es el valor medio de la medida del nivel de presión sonora del ruido en de las cuatro bandas de octava de 500 Hz a 4 kHz.

$$L_{SIL} = \frac{1}{4}\sum_{i=500}^{i=4000} L_{N_i} \text{ dB}$$

Las curvas SIL son curvas de igual inteligibilidad de la palabra para diferentes esfuerzos vocales y determinan la relación entre el nivel SIL y la distancia máxima permisible emisor-receptor para una inteligibilidad de la palabra mínimamente fiable y un esfuerzo vocal determinado. Las curvas SIL han sido definidas en varias Normas (ISO, ANSI, DIN, AFNOR), existiendo diferencias entre ellas en las precondiciones y resultados.

Este método no es de aplicación en los siguientes casos: cuando el nivel SIL varía en más de 10 dB a lo largo del tiempo, la sala tiene un tiempo de reverberación superior a los dos segundos, la palabra está distorsionada.

La figura 15.2 se muestran las distancias orador-oyente para una inteligibilidad de la palabra mínima adecuada según el esfuerzo vocal del orador y el ruido de fondo.



Nivel de interferencia del habla- SIL(0,5;1;2;4)

Figura 15.2: Distancias orador-oyente para una inteligibilidad de la palabra mínima adecuada

Un orador elevará el nivel acústico de su voz en presencia de ruido. Por encima de niveles de ruido de fondo superiores a 50 dB ponderados A, el orador aumentará su nivel de emisión de 3 a 6 dB por cada aumento de 10 dB del nivel de ruido de fondo. En la gráfica 15.2 del nivel de interferencia de la palabra SIL en función de la distancia emisor-receptor aparece una zona sombreada denominada nivel esperado de la voz, que muestra el efecto del ruido de fondo sobre el nivel de la voz.

En lugares de trabajo donde la comunicación oral es importante, el nivel de ruido de fondo no debe superar los 60-65 dB ponderados A, estos niveles permiten una comunicación satisfactoria hasta unos 2 metros de distancia.

15.3 - CURVAS NC

Las curvas NC (Noise Criterion) fueron desarrolladas por L.L. Beranek en 1.957 y posteriormente la designación de los índices NC-XX fue modificada. Las curvas se obtuvieron mediante encuestas a personas trabajando en oficinas, industrias y espacios públicos. Simultáneamente a las encuestas, se median los niveles de ruido en bandas de octava. Las curvas NC nos dan los niveles de presión acústica correspondientes en bandas de octava cuyos centros van de 63 Hz a 8 kHz. La figura 15.2 muestra las curvas NC y la tabla 15.1 los niveles de presión acústica en bandas de octava correspondientes a cada curva NC.

El sistema de clasificación se basa en las hipótesis de que los factores principales que influyen en la respuesta de las personas al ruido de fondo son la sonoridad, el nivel de presión acústica y la forma del espectro en la zona de frecuencias del habla.

Las curvas NC son ampliamente utilizadas para evaluar el ruido emitido por instalaciones y maquinaria en el interior de los recintos, y para establecer unos objetivos de diseño, especificando unos límites superiores en los niveles de presión acústica en bandas de octava, recomendables según el tipo y uso de los recintos. El índice NC es únicamente aplicable para ruidos continuos y estables que no modifiquen de forma apreciable sus niveles de emisión en el transcurso del tiempo.

Método NC de clasificación de un ruido

El recinto debe estar libre de ocupantes y el sistema que produce el ruido funcionando. Los pasos a seguir son los siguientes:
1.- Medir los niveles de presión acústica en la sala en dB, en bandas de octava centradas entre 63 Hz y 8 kHz.
2.- Representar el espectro del ruido obtenido sobre las curvas NC.
3.- Sobre las curvas NC, localizar la menor curva NC que está completamente encima del espectro, están representadas en intervalos de 5 dB.
4.- Desplazar la curva anterior hacia abajo hasta que sea justamente tangente al espectro medido. A 1 kHz, determinar el número de dB que esta curva debe de ser desplazada hasta ser tangente al espectro.
5.- La curva NC del ruido es igual al valor de la curva NC obtenida en el paso 3, menos el número de dB desplazados hacia abajo en el paso 4.

En la práctica el procedimiento anterior no se utiliza de forma completa y se asigna a un ruido la clasificación NC XX, a la menor curva NC que sea tangente exterior al espectro. Este número obtenido está basado de forma esencial en la sonoridad y no aporta ninguna información útil sobre las características del espectro que podrían afectar a la audición. Nos podemos encontrar espectros de ruidos diferentes con la misma curva NC y que producen molestias muy diferentes en los oyentes. Un procedimiento

aconsejable consiste en exigir que la forma del espectro del ruido se aproxime a la curva NC al menos en tres octavas contiguas, sin superar los límites de la misma.

Frecuencia, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NC 65	80	75	71	68	66	64	63	62
NC 60	77	71	67	63	61	59	58	57
NC 55	74	67	62	58	56	54	53	52
NC 50	71	64	58	54	51	49	48	47
NC 45	67	60	54	49	46	44	43	42
NC 40	64	57	50	45	41	39	38	37
NC 35	60	52	45	40	36	34	33	32
NC 30	57	48	41	35	31	29	28	27
NC 25	54	44	37	31	27	24	22	21
NC 20	51	40	33	26	22	19	17	16
NC 15	47	36	29	22	17	14	12	11

Tabla 15.1: Niveles de presión acústica correspondientes a las curvas NC

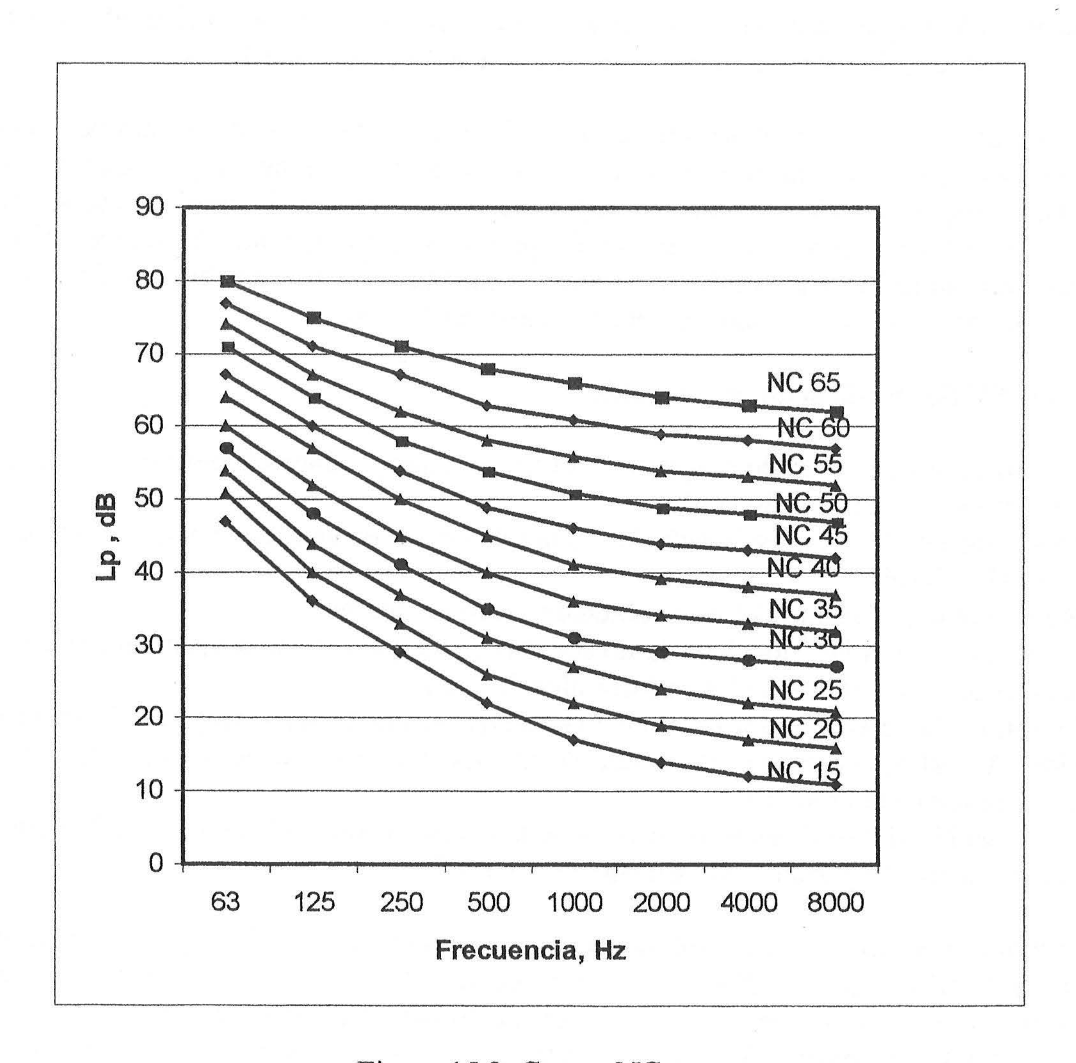


Figura 15.2: Curvas NC

15.4 -CURVAS PNC

En 1.971 la Sociedad Americana de Acústica publicó las curvas PNC (Prefered Noise Criterion), se diferencian de las curvas NC en que los niveles de interferencia con la palabra (SIL) fueron obtenidos a partir de las bandas de octava centradas en 500, 1000 y 2000 Hz; los niveles a baja frecuencia se ampliaban a la banda centrada en 31,5 Hz; los niveles de presión acústica en las bandas de baja y alta frecuencia son menores que los de las curvas NC. Encuestas realizadas a especialistas en control de ruido a finales de los años 1980 indican que estas curvas se han utilizado muy poco. En la figura 15.3 se muestran las curvas PNC y en la tabla 15.2 los niveles de presión acústica de las curvas en cada banda de octava.

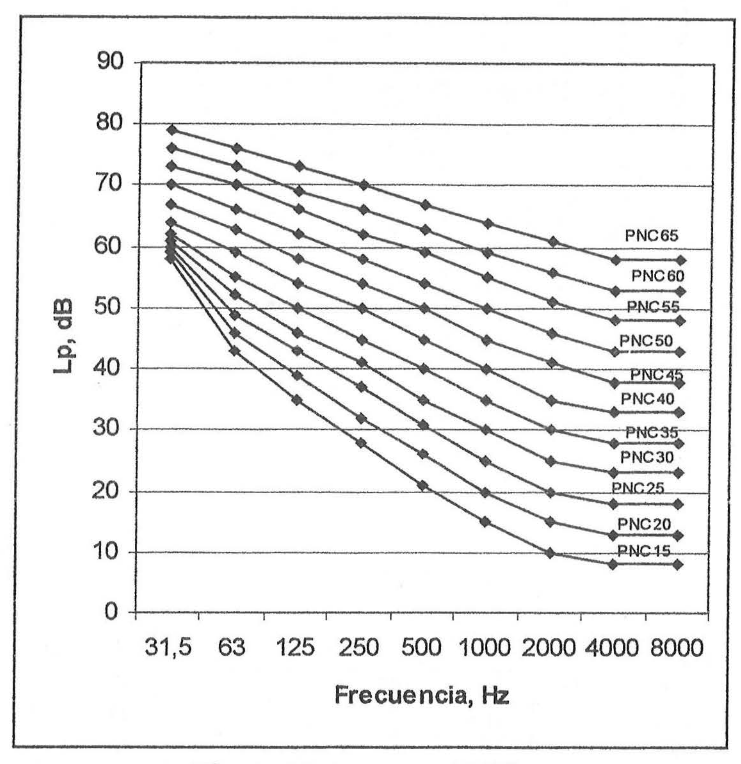


Figura 15.3: Curvas PNC

Frecuencia, Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
PNC 65	79	76	73	70	67	64	61	58	58
PNC 60	76	73	69	66	63	59	56	53	53
PNC 55	73	70	66	62	59	55	51	48	48
PNC 50	70	66	62	58	54	50	46	43	43
PNC 45	67	63	58	54	50	45	41	38	38
PNC 40	64	59	54	50	45	40	35	33	33
PNC 35	62	55	50	45	40	35	30	28	28
PNC 30	61	52	46	41	35	30	25	23	23
PNC 25	60	49	43	37	31	25	20	18	18
PNC 20	59	46	39	32	26	20	15	13	13
PNC 15	58	43	35	28	21	15	10	8	8

Tabla 15.2: Niveles de presión acústica de las curvas PNC

15.5.- CURVAS NR

Las curvas NR (Noise Rating), fueron publicadas en 1.971 por la International Organization for Standarization (ISO R-1.996). Se utilizan de forma generalizada. En la figura 15.4 se muestran las curvas NR y en la tabla 15.3 los valores del nivel de presión acústica en cada banda de frecuencia correspondientes a cada curva NR.

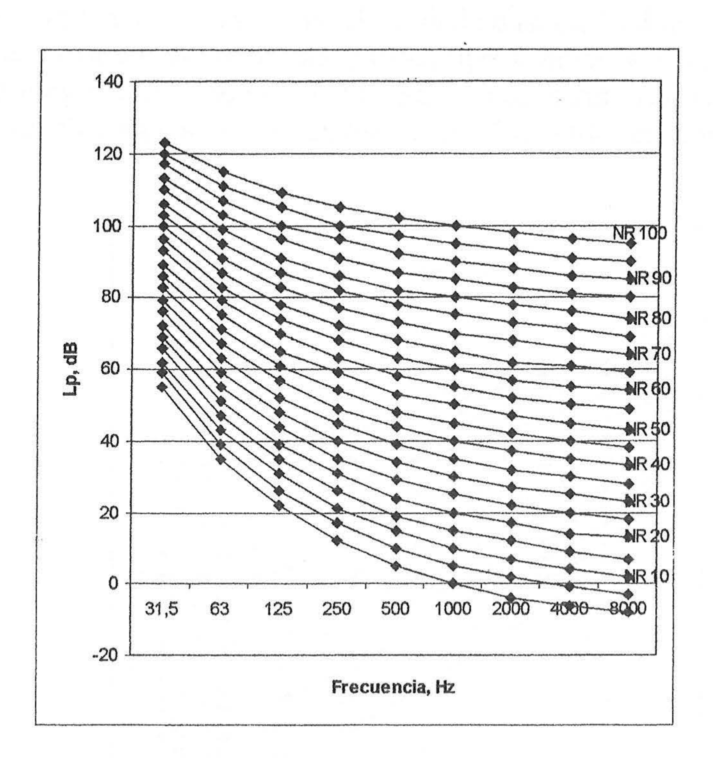


Figura 15.4: Curvas NR

Frecuencia, Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NR 100	123	115	109	105	102	100	98	96	95
NR 95	120	111	105	100	97	95	93	91	90
NR 90	117	107	100	96	92	90	88	86	85
NR 85	113	103	96	91	87	85	83	81	80
NR 80	110	99	91	86	82	80	78	76	74
NR 75	106	95	87	82	78	75	73	71	69
NR 70	103	91	83	77	73	70	68	66	64
NR 65	100	87	78	72	68	65	62	61	59
NR 60	96	83	74	68	63	60	57	55	54
NR 55	93	79	70	63	58	55	52	50	49
NR 50	89	75	65	59	53	50	47	45	43
NR 45	86	71	61	54	48	45	42	40	38
NR 40	83	67	57	49	44	40	37	35	33
NR 35	79	63	52	45	39	35	32	30	28
NR 30	76	59	48	40	34	30	27	25	23
NR 25	72	55	44	35	29	25	22	20	18
NR 20	69	51	39	31	24	20	17	14	13
NR 15	66	47	35	26	19	15	12	9	7
NR 10	62	43	31	21	15	10	7	4	2
NR 5	59	39	26	17	10	5	2	-1	-3
NR 0	55	35	22	12	5	0	-4	-6	-8

Tabla 15.3: Niveles de presión acústica de las curvas NR

15.6.- CURVAS RC

En 1.981, W.E.Blazier publico unas nuevas curvas, llamadas RC (Room Criterion), estas fueron obtenidas de los resultados de un proyecto de investigación patrocinado por ASHRAE. Se obtuvo una base de datos para establecer los niveles de ruido aceptables en oficinas, producidos por los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC).

Las curvas RC tienen en cuenta la forma del espectro y la valoración subjetiva del ruido, incluye medidas de niveles de presión acústica desde la banda de octava centrada en los 16 Hz hasta los 4 kHz y tienen en cuenta la molestia producida por las vibraciones de elementos de construcción ligeros como resultado del funcionamiento de los sistemas HVAC.

La clasificación del número de cada curva se obtiene a partir del promedio de los niveles de presión acústica en las bandas de octava de 500, 1000 y 2000 Hz. En la figura 15.5 se muestran las curvas RC, estas son de utilidad para evaluar el ruido en oficinas sin ocupantes con los sistemas HVAC funcionando. Los valores obtenidos en la zona rayada superior indican una alta probabilidad de percepción de las vibraciones mecánicas en recintos con paramentos ligeros, en la zona rayada inferior la probabilidad es baja, la línea transversal inferior nos indica el umbral de audición. También sirven para especificar los niveles de ruido de fondo de espectro neutro, que indican un buen diseño mecánico del sistema; es decir, el sistema no retumba y/o sisea. Las curvas RC tienen una pendiente de -5 dB/octava en todo el rango de medida, de acuerdo con los resultados experimentales obtenidos en oficinas con sistemas HVAC y consideradas como aceptables por sus ocupantes. El número asignado a cada curva corresponde al nivel de la octava de 1 kHz.

De los resultados de las encuestas realizadas al personal de las oficinas estudiadas, se asignó una letra a la curva RC para caracterizar la calidad del sonido, de acuerdo con los siguientes criterios:

Un espectro de ruido es **neutro** (N) cuando los niveles de presión acústica de las bandas de octava de 500 Hz e inferiores no superan en más de 5 dB los niveles de octava del espectro de referencia, y los niveles de 1 kHz, 2 kHz y 4 kHz no superan en más de 3 dB al espectro de referencia.

El espectro de ruido es *retumbante* (R) cuando los niveles de presión acústica de las bandas de octava de 500 Hz e inferiores superan los niveles del espectro de referencia en al menos un punto de la línea.

El espectro es *siseante* (H) cuando los niveles de presión acústica de 1 kHz y bandas superiores sobrepasa los niveles de octava del espectro de referencia en más de 3 dB en al menos un punto de la línea.

Espectro *tonal* (T), si existen tonos puros audibles en el ruido que producen un cambio abrupto del espectro en una banda de octava particular.

Existe *vibración perceptible inducida acústicamente* (RV), cuando el espectro es retumbante y contiene energía de bajas frecuencias capaces de inducir vibraciones perceptibles en los paramentos ligeros de los edificios.

El método para clasificar un espectro de ruido con el criterio RC es el siguiente:

1.- Se miden los niveles de presión acústica del ruido en todas las bandas de octava de frecuencias entre 31,5 Hz y 4 kHz, para clasificar la vibración inducida acústicamente hay que medir también en la banda de 16 Hz. Los niveles obtenidos se representan gráficamente.
2.-Se calcula el valor medio de los niveles de presión acústica en dB, de las tres bandas de octava de 500, 1000 y 2000 Hz. (Se conoce como Nivel de Interferencia de la Palabra de las tres bandas, SIL).
3.-Representación de la recta de referencia, es una línea recta de pendiente -5 dB/ octava en el rango de frecuencias de 31,5 Hz a 4 kHz que pasa por el punto correspondiente de abcisa 1 kHz y ordenada el valor SIL obtenido en el apartado anterior. Sirve para clasificar la calidad del espectro del ruido.
4.-Se representa un segmento rectilíneo situado 5 dB por encima de la curva de referencia desde la banda de 31,5 Hz hasta 500 Hz. Desde la banda de 1kHz hasta 4 kHz se traza otro segmento paralelo a la recta de referencia, situada a 3 dB por encima. Si el espectro del sonido está dentro de esta franja, el sonido es neutro. De acuerdo con el espectro y la clasificación dada anteriormente, se adjudica la letra correspondiente.
5.- Finalmente se indica la clasificación RC del espectro de ruido, por ejemplo: RC 38 (H).

Las curvas RC fueron obtenidas únicamente para recintos destinados a oficinas.

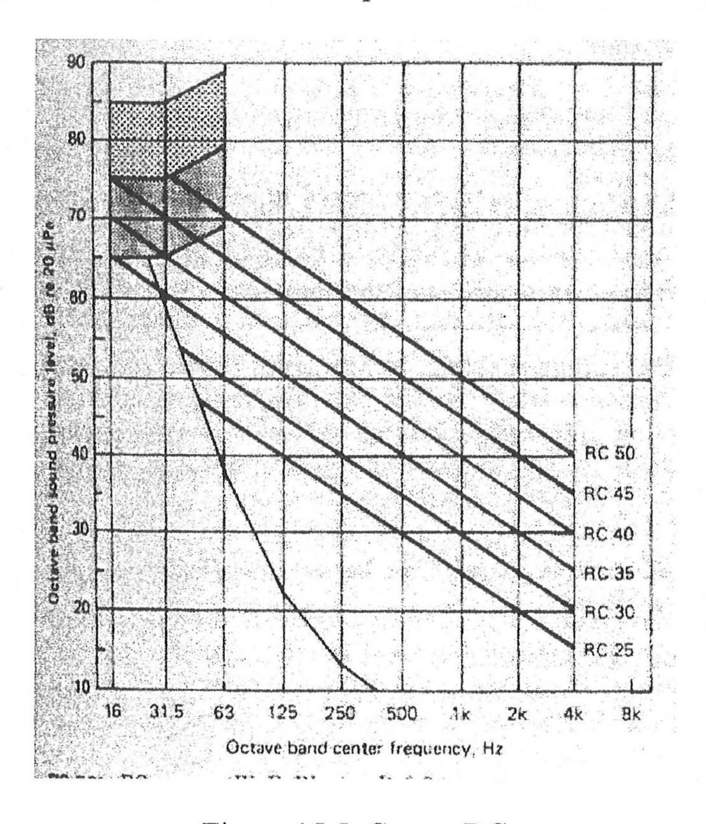


Figura 15.5: Curvas RC

15.7. - CURVAS NCB

Las curvas NCB (Balanced Noise Criterion) fueron propuestas en 1989 por Beranek como revisión de las curvas NC, las mejoran a bajas y altas frecuencias, son de aplicación a recintos ocupados,(incluye los ruidos de la actividad), y los sistemas HVAC están funcionando. Para su obtención utiliza la American National Standard SIL, para la clasificación de las curvas y el espectro del ruido se mide en bandas de octava entre 16 Hz y 8 kHz. Estas curvas pueden ser utilizadas en la fase de diseño para especificar los niveles de ruido aceptables en un recinto, y una vez construido para clasificar el ruido y sus efectos sobre la inteligibilidad de la palabra, también incluyen las zonas de Blazier con el mismo significado. La figura 15.6 muestra las curvas NCB.

En la clasificación de espectros de ruidos mediante las curvas NCB se indica un procedimiento para determinar si un espectro puede ser retumbante o siseante. No se puede aplicar el procedimiento simplificado de tangente al contorno de las curvas NC.

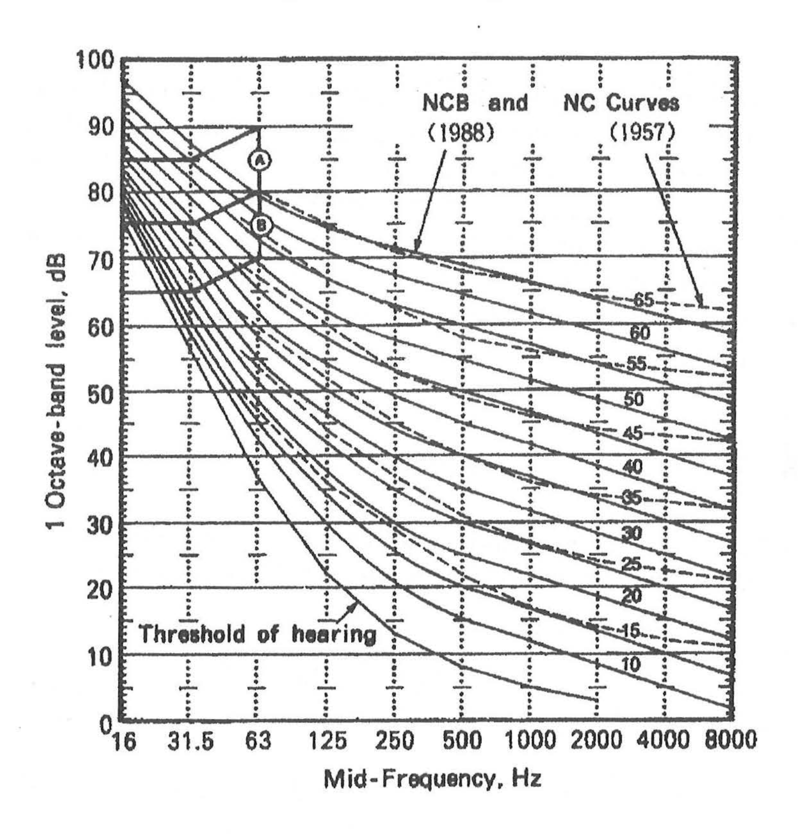


Figura 15.6: Curvas NCB

Cuando se clasifica un ruido o se determina su comportamiento respecto a las especificaciones, utilizando las curvas NCB en un recinto ocupado, se realiza mediante el siguiente procedimiento:

1.- Se miden los niveles de presión acústica en bandas de octava desde 31,5 Hz a 8 kHZ y se representan gráficamente.
2.- Se determina el Nivel de Interferencia de la Palabra, SIL, calculando el valor medio de los niveles de presión acústica en las bandas de octava de 500, 1000, 2000 y 4000 Hz y redondeando su valor a un número entero.
3.- La curva NCB-YY del espectro de ruido se obtiene sumando 3 dB al nivel SIL. Si el espectro del ruido presenta niveles superiores a los de la curva de referencia en alguna

banda de octava de 31,5 Hz a 1kHz el ruido es retumbante, si es superior en alguna de las bandas de octava de 1000 Hz a 8000 Hz el ruido es siseante.

15.8.- NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA PONDERADO A.

El oído humano no es igualmente sensible a todas las frecuencias, para compensar estas diferencias se introducen las curvas de ponderación. La curva de ponderación A es la de uso mas general, (Norma UNE 21-314-75) y la incorporan la mayoría de los equipos de medidas acústicas.

Para evaluar las molestias del ruido y el daño acústico potencial, suele utilizarse un parámetro acústico que mide su contenido energético en un intervalo de tiempo, se le denomina Nivel Sonoro Continuo Equivalente, $L_{Aeq,T}$, que se define como el nivel de presión acústica que tendría un ruido teóricamente constante con igual energía que el sonido real emitido, durante un intervalo de tiempo T. Suele expresarse en dB ponderados A.

Aunque el nivel de presión acústica ponderado A es muy útil para evaluar algunos tipos de ruidos, su uso puede ser muy poco fiable para medir los ruidos de los sistemas HVAC en donde es necesario el conocimiento del espectro de ruido, pues podemos encontrar espectros con una distribución en frecuencias muy diferente, el mismo nivel global en dB ponderados A y que difieran de forma apreciable en las molestias que originan. En consecuencia, el nivel global en dB ponderados A debería ser evitado en las especificaciones que deben de cumplir los sistemas HVAC, y exigir una determinada forma del espectro de ruido.

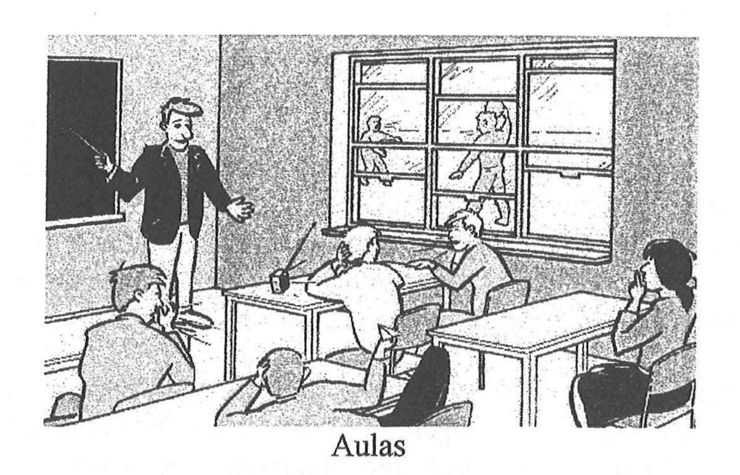
15.9.- VALORES RECOMENDABLES DE INDICES DE RUIDO

A continuación, tabla 15.4 , según el tipo de actividad, se indican algunos intervalos de valores aceptables de los diversos índices de ruido en el interior de recintos.

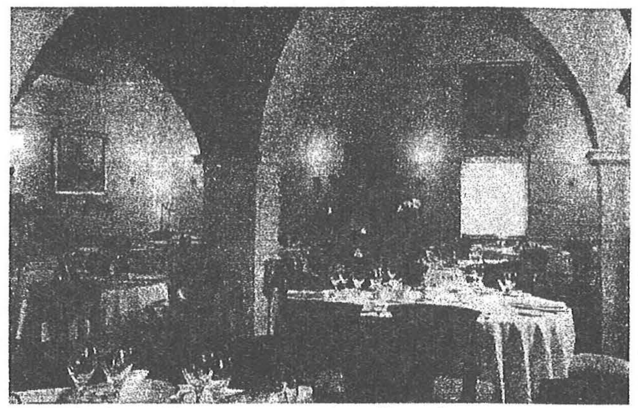
Tipo de recinto	Índice de ruido					Nivel
	NR	NC	PNC	RC	NCB	dB(A)
Salas de concierto, opera y locales de recitales.	20-25	20-25	10-20	20-25	10-15	18-23
Grandes auditorios, teatros e iglesias.	20-30	25-30	20	25-30	< 20	< 28
Pequeños auditorios, teatros, iglesias, salas de conferencias.	25-35	25-30	35	25-30	< 30	< 38
Dormitorios, hospitales, hoteles , residencias.	25-35	25-35	25-40	30-35	25-40	38-48
Aulas, bibliotecas, oficinas privadas.	30-40	30-35	30-40	25-30	30-40	38-48
Grandes oficinas, cafeterías, restaurantes, tiendas.	35-45	35-45	35-45	35-45	35-45	43-53
Pasillos, oficinas de ingeniería	40-50	40-50	40-50	35-40	40-50	48-58
Oficinas con ordenadores, cocinas, lavanderías.	50-55	40-50	45-55	40-45	45-55	53-63

Tabla 15.4: Valores recomendables de índices de ruido

EJEMPLOS DE RECINTOS EN LOS QUE ES NECESARIA UNA BUENA INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA.

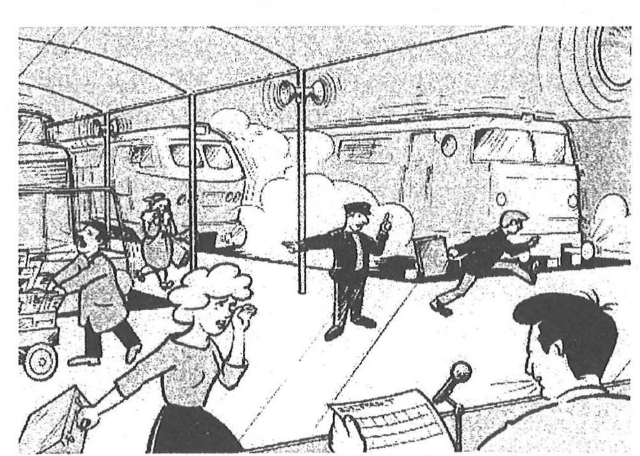


Aulas



Restaurantes, cafeterías

La Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano del Ayuntamiento de Madrid de 2001, en el anexo II.4 indica las condiciones acústicas que tiene que cumplir los recintos destinados a docencia y locales de publica concurrencia, sin equipos de reproducción/amplificación de música.



En algunas situaciones, es imprescindible mejorar el sistema de megafonía y disminuir el ruido ambiental.

16 EL RUIDO Y EL PLANEAMIENTO URBANO

16.1 - INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la planificación urbanística es proponer soluciones a las contradicciones existentes entre la naturaleza y la cultura. Estas soluciones deben ser el resultado de un equilibrio entre los condicionantes en los instrumentos técnico-jurídicos llamados Planes. Mediante los planes urbanísticos la sociedad se autoregula y se ordena su territorio, se hace una previsión de nuevas vías, parques, espacios para viviendas, servicios, infraestructuras, etc. En un urbanismo de nueva planta conforman en el transcurso del tiempo barrios, distritos, polígonos, ciudades, etc.

El tema es muy complejo y debe ser abordado por equipos de urbanistas que con diferentes especialidades: arquitectos, ingenieros, sociólogos, economistas, abogados, etc. traten de abordar todos los factores que afectarán a la actuación urbanística concreta, que satisfaciendo las demandas de la sociedad, sean respetuosas y acertadas con la naturaleza y el medio ambiente. Dado que el ruido urbano es uno de los condicionantes más importantes que hacen que las ciudades sean más o menos habitables, en el equipo de urbanistas es necesaria la presencia de un especialista en acústica urbana.

El diseñador de ciudades maneja las opciones que permiten que las ciudades sean más o menos ruidosas. Con unas nociones básicas de acústica, el equipo planificador-urbanista puede diseñar ciudades más habitables, en las cuales la arquitectura pueda desarrollarse sin limitaciones acústicas. Cuando no se tiene en cuenta el ruido en el planeamiento urbano, la ciudad ruidosa nace por generación espontánea. Esto afecta al transeúnte, que no puede mantener una conversación normal en las aceras, balcones y espacios al exterior de la ciudad, y a la arquitectura, que debe utilizar técnicas especiales de aislamiento acústico de los edificios para proteger a sus moradores. El ruido debe considerarse de forma efectiva en la planificación y gestión de las ciudades.

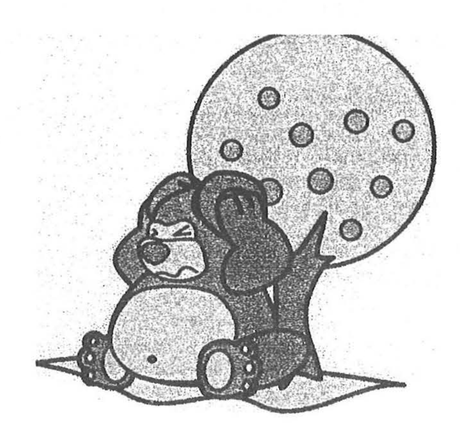
El ruido es controlable en la fuente emisora, camino de propagación y lugar de recepción. El urbanista no puede controlar el ruido producido por la fuente, pero el conocimiento de sus propiedades cualitativas y cuantitativas, le permitirá actuar de forma adecuada, para controlar o reducir sus efectos utilizando estrategias que van desde el emplazamiento de los edificios respecto a las fuentes de ruido, al diseño de la distribución interior de los edificios de manera que reduzcan los efectos del ruido.

Las diferentes administraciones públicas locales, autonómicas, nacionales y europeas han ido desarrollando una legislación contra el ruido que el urbanista debe tener en cuenta al realizar la planificación.

16.2.- LAS NORMATIVAS URBANÍSTICAS Y EL RUIDO

Corresponde al urbanista en el momento de proyectar el tener en consideración las diversas fuentes de ruido y los valores exigenciales de las diferentes normativas legales.

El régimen del suelo y la ordenación urbana se rigen en España por una ley que tiene su comienzo en 1956, posteriormente fue reformada en 1975, y con posterioridad ha sido desarrollada y modificada. En diferentes artículos trata del contenido de los Planes. Dedica varios artículos a los planes generales de Ordenación Urbana municipales y detalla el contenido de los Planes Parciales y los Planes especiales.



En el ámbito local de la ciudad de Madrid se puede comentar que el Plan General de Ordenación Urbana de Madrid incluye criterios acústicos en la planificación urbana, que engloban todas las fuentes acústicas incluido el tráfico. La Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano de Madrid de 2001, se adapta al Decreto 78/1999 de la Comunidad de Madrid y supone un importante paso para el control de ambiente acústico en la ciudad.

Normativa Acústica de la Comunidad de Madrid

Cubre la inexistencia de una ley estatal contra el ruido, que está pendiente de publicarse desde hace varios años. La falta de esta ley está originando competencias desleales entre comunidades limítrofes.

El DECRETO 78/1999, de 27 de mayo, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid establece en el artículo 10 una clasificación de las áreas de sensibilidad acústica en diferentes tipologías en los ambientes exterior e interior. Por su interés se transcriben a continuación algunos artículos del citado Decreto.

Artículo 12
Valores límite de emisión de ruido al ambiente exterior

1. En aquellas zonas que a la entrada en vigor de este Decreto se prevean nuevos desarrollos urbanísticos ningún emisor acústico, podrá producir ruidos que hagan que el nivel de emisión al ambiente exterior sobrepase los valores límite fijados en la siguiente tabla, evaluados según lo descrito en los Anexos Tercero, Cuarto, Quinto y Séptimo.

Área de sensibilidad acústica	Valores límite expresados en LAeq	
	Período diurno	Período nocturno
Tipo I (Área de silencio)	50	40
Tipo II (Área levemente ruidosa)	55	45
Tipo III (Área tolerablemente ruidosa)	65	55
Tipo IV (Área ruidosa)	70	60
Tipo V (Área especialmente ruidosa)	75	65

2. En aquellas zonas que a la entrada en vigor de este Decreto estén consolidadas urbanísticamente los valores objetivo a alcanzar serán los fijados en la siguiente tabla, evaluados según lo descrito en los Anexos Tercero, Cuarto, Quinto y Séptimo.

Área de sensibilidad acústica	Valores objetivo expresados en LAeq	
	Período diurno	Período nocturno
Tipo I (Área de silencio)	60	50
Tipo II (Área levemente ruidosa)	65	50
Tipo III (Área tolerablemente ruidosa)	70	60
Tipo IV (Área ruidosa)	75	70
Tipo V (Área especialmente ruidosa)	80	75

Artículo 24
Planificación urbanística

1. Los Planes Generales de Ordenación Urbana, las Normas Subsidiarias de Planeamiento y cualquier otra figura de planeamiento urbanístico a nivel municipal o inferior, tendrán en cuenta los criterios establecidos por este Decreto en materia de protección contra la contaminación acústica y los incorporarán a sus determinaciones en la medida oportuna.

2. La asignación de usos generales y usos pormenorizados del suelo en las figuras de planeamiento tendrá en cuenta el principio de prevención de los efectos de la contaminación acústica y velará para que, en lo posible, no se superen los valores límite de emisión e inmisión establecidos en este Decreto.

3. La ubicación, orientación y distribución interior de los edificios destinados a los usos más sensibles desde el punto de vista acústico se planificará con vistas a minimizar los niveles de inmisión en los mismos, adoptando diseños preventivos y suficientes distancias de separación respecto a las fuentes de ruido más significativas, y en particular, el tráfico rodado.

4. Las figuras de planeamiento urbanístico general incorporarán en sus determinaciones, al menos, los siguientes aspectos:

a. Planos que reflejen con suficiente detalle los niveles de ruido en ambiente exterior, tanto en la situación actual como en la previsible una vez acometida la urbanización.

b. Criterios de zonificación de usos adoptados a fin de prevenir el impacto acústico.

c. Propuesta de calificación de áreas de sensibilidad acústica en el ámbito espacial de ordenación, de acuerdo con los usos previstos y las prescripciones de este Decreto.
d. Medidas generales previstas en la ordenación para minimizar el impacto acústico.
e. Limitaciones en la edificación y en la ubicación de actividades contaminantes por ruido y vibraciones a incorporar en las ordenanzas urbanísticas.
f. Requisitos generales de aislamiento acústico de los edificios en función de los usos previstos para los mismos y de los niveles de ruido estimados en ambiente exterior.

Artículo 26

Tráfico rodado

1. Todos los proyectos de autopistas, autovías, carreteras y líneas férreas sometidas a Evaluación de Impacto Ambiental de acuerdo con la normativa vigente de la comunidad de madrid, incluirán un estudio específico de impacto acústico.
2. La declaración positiva de impacto ambiental de tales proyectos vendrá condicionada aque los valores de Nivel Sonoro Continuo Equivalente correspondientes al ruido de tráfico en la situación postoperacional, calculados mediante modelo de predicción, o cualquier otro sistema técnico adecuado, no superen 65 y 55 dB(A) durante el período diurno y nocturno, respectivamente, referidos a las fachadas de los edificios existentes o contemplados en el planeamiento urbanístico correspondiente a áreas de sensibilidad acústica de tipo I y II. Tampoco podrán superarse los niveles de transmisión de vibraciones previstos en el artículo 15.

Normativa estatal

La Norma Básica de la edificación, NBE-CA-88 Condiciones acústicas en los edificios, en el Capítulo II, especifica las directrices generales que se deben considerar con respecto al ruido en la edificación. Es una Norma obsoleta que está en fase de sustitución por el Código Técnico de la Edificación. En el Artículo 6 especifica las directrices a seguir en el planeamiento urbanístico.

Artículo 6º En el planeamiento urbanístico

En el planeamiento se estima procedente la consideración de las siguientes directrices:

6.1. Ubicación de zonas industriales en áreas dispuestas al efecto, que garantice que en los asentamientos urbanos más próximos no se produzcan, por su sola causa, niveles de ruido equivalente L_{Aeq} superiores a 60 dB(A), durante un período de tiempo representativo de veinticuatro horas.

6.2. Ubicación y trazado de vías férreas en bandas dispuestas al efecto, que garanticen que en los asentamientos urbanos más próximos no se produzcan, por

su sola causa, niveles de ruido equivalente L_{Aeq} superiores a 60 dB(A), durante un período de tiempo representativo de veinticuatro horas.

6.3. Ubicación y trazado de las vías de penetración con tráfico rodado pesado, en bandas dispuestas al efecto, que garanticen que en los asentamientos urbanos más próximos no se produzcan, por su sola causa, niveles de ruido equivalente L_{Aeq} superiores a 60 dB(A), durante un período de tiempo representativo de veinticuatro horas.

6.4. Ubicación y trazado de las autopistas urbanas, en bandas dispuestas al efecto, que garanticen que en los asentamientos urbanos más próximos no se produzcan, por su sola causa, niveles de ruido equivalente L_{Aeq} superiores a 60 dB(A), durante un período de tiempo representativo de veinticuatro horas.

6.5. Distribución de volúmenes de la edificación de modo que se protejan por efecto pantalla las partes más sensibles del edificio, de los ruidos procedentes de fuentes fijas, o de las direcciones preminentes de incidencia del ruido.

6.6. Orientación de los edificios de modo que presenten la menor superficie de exposición de áreas sensibles al ruido en la dirección preminente de incidencia del mismo.

Normativa de la Unión Europea

El Borrador de la Directiva del Parlamento Europeo y del consejo sobre la evaluación y gestión del ruido ambiental estima que en la Unión europea las pérdidas económicas inducidas por el ruido ambiental se sitúan en varias decenas de miles de millones de euros anualmente. En este coste incluyen, la reducción del precio de la vivienda en las zonas afectadas por el ruido, los costes sanitarios, la reducción de las posibilidades de explotación del suelo y el coste de los días de abstención al trabajo. Por otra parte, si no se toman medidas contra la contaminación acústica los problemas se agravarán y el coste social y económico aumentará.

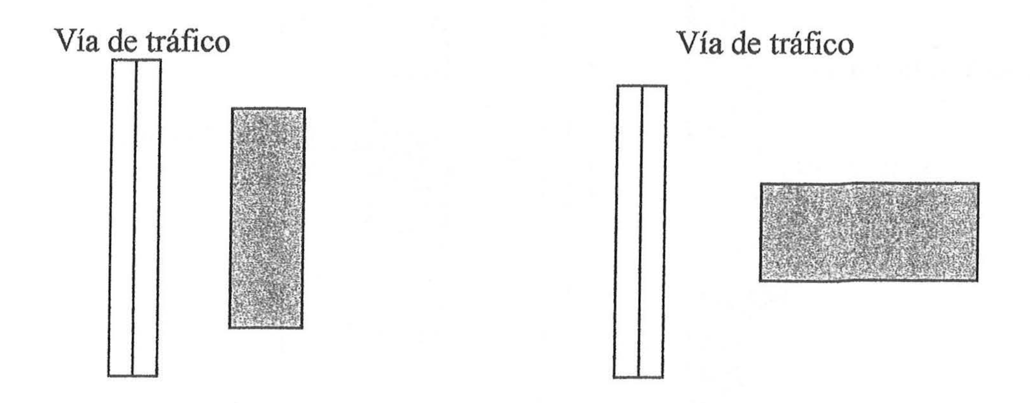
La pertenencia a la Unión Europea implica la adopción por parte de los estados miembros de una política común de lucha contra el ruido ambiental. Será necesario armonizar las exigencias y los criterios de valoración establecidos en los países de la Unión Europea.

16.3.- LA UBICACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LOS EDIFICIOS RESPECTO A LAS FUENTES DE RUIDO.

La ubicación, orientación de los edificios y distribución interior de forma acústicamente correcta, puede contribuir de forma muy importante a la protección de las viviendas frente a los ruidos exteriores. Siempre se deben proteger las fachadas del edificio de las vías de tráfico. Se deben situar a la mayor distancia posible las fuentes de ruido y las zonas del edificio más sensibles al mismo.

A continuación se analizarán varias situaciones respecto a la orientación relativa de los edificios, su altura, su uso como barreras acústicas, etc.

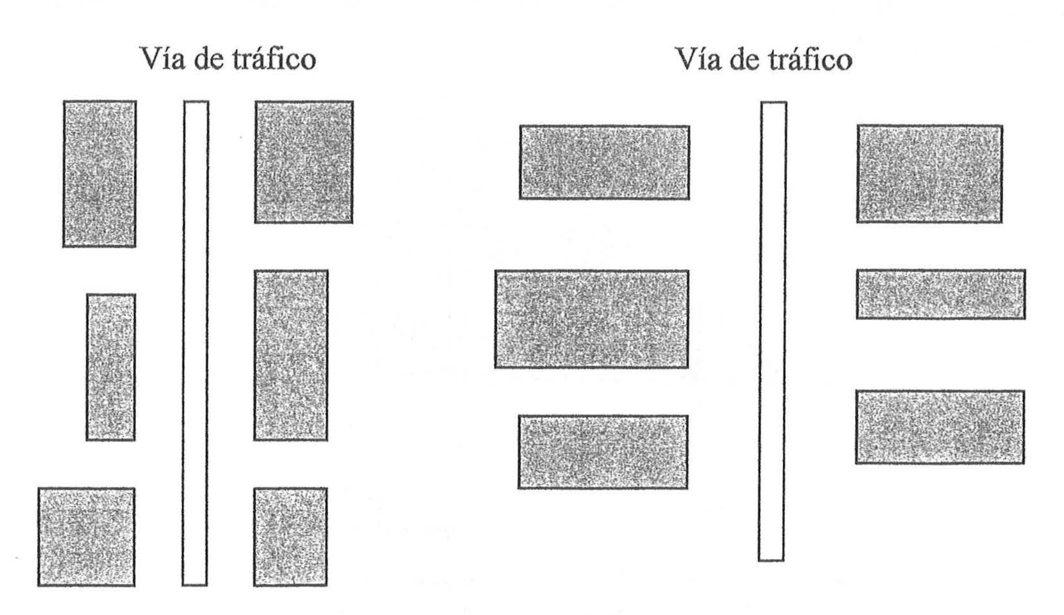
1) Orientación de un edificio respecto a una vía de tráfico



Cuando el edificio es paralelo a la vía de tráfico la fachada con vista a la vía recibe todo el ruido del tráfico, pero hace de barrera acústica de la fachada posterior. En esta parte se deberían situar los dormitorios de las viviendas.

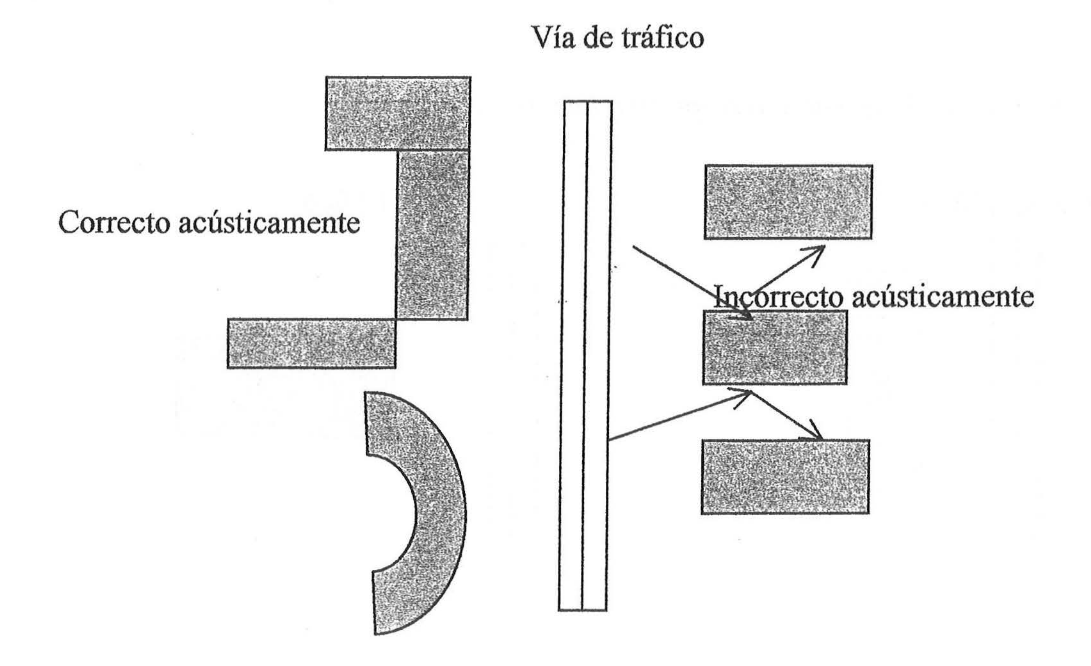
Si el edificio es perpendicular a la vía ambas fachadas están expuestas al ruido de tráfico.

2 *Orientación de un conjunto de edificios respecto a una vía de tráfico*



Con la disposición paralela, la presencia de edificios a ambos lados de la vía de tráfico aumenta el varios dB los niveles acústicos en las fachadas de los edificios próximas a la vía, debido a las reflexiones. Las fachadas posteriores están más protegidas.

La disposición perpendicular de los edificios evita el aumento de los niveles acústicos debido a las reflexiones, ninguna fachada está verdaderamente protegida.



3 *Altura*

Cuando se tienen que construir viviendas próximas a una vía con mucho tráfico, es preferible desde el punto de vista acústico, que los edificios no superen las tres o cuatro alturas.

Con un diseño adecuado de las alturas de un edificio, se pueden utilizar los edificios como barreras acústicas.

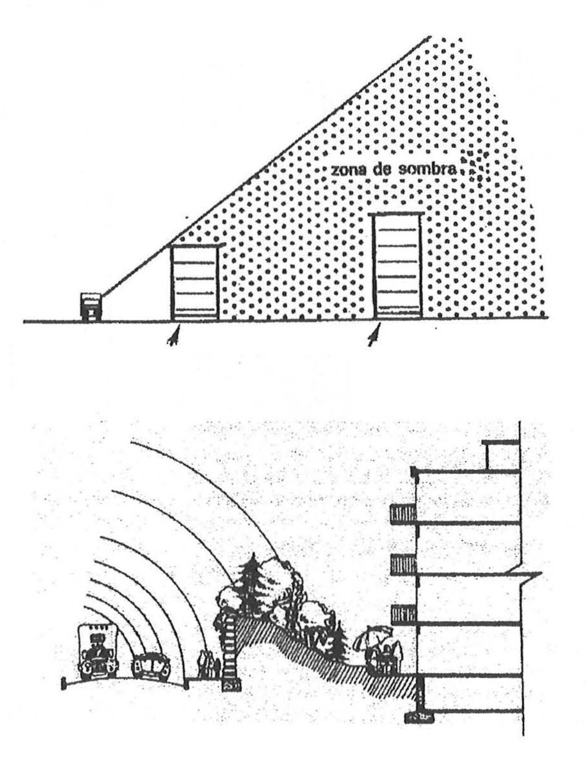
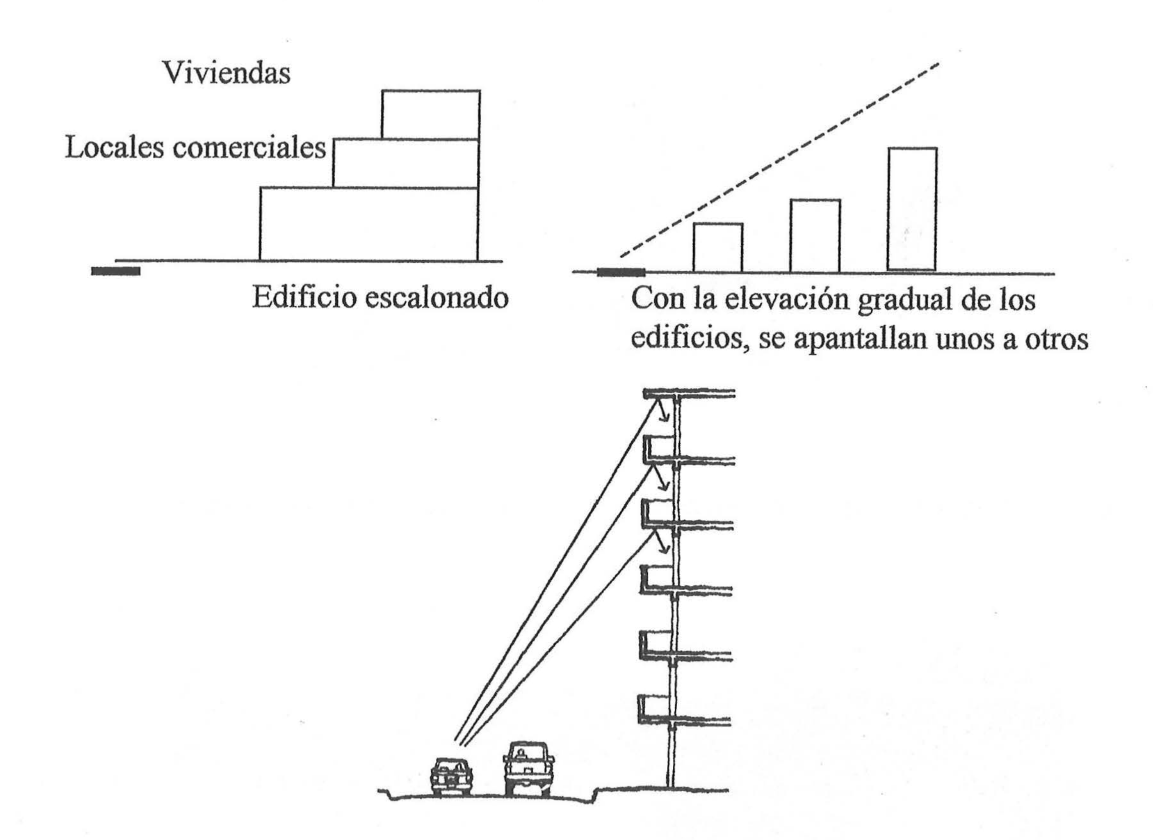
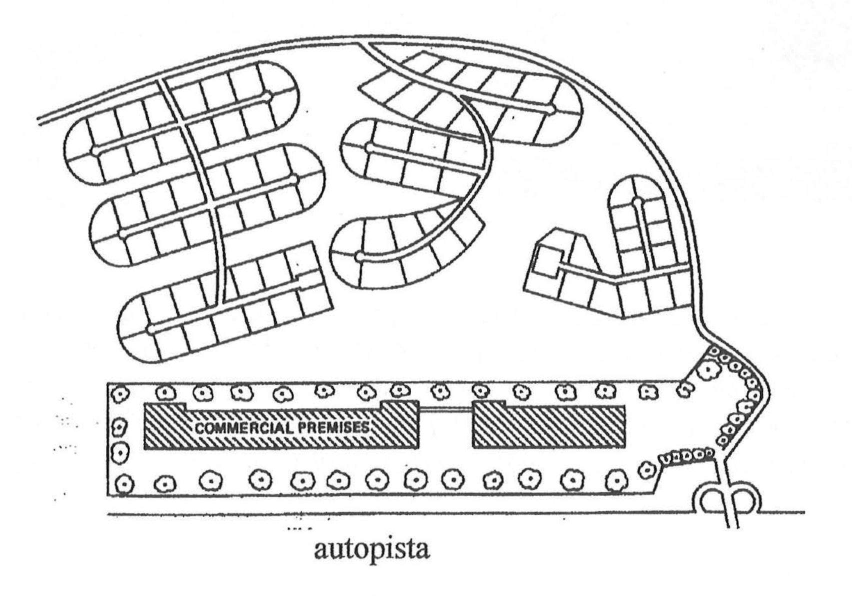


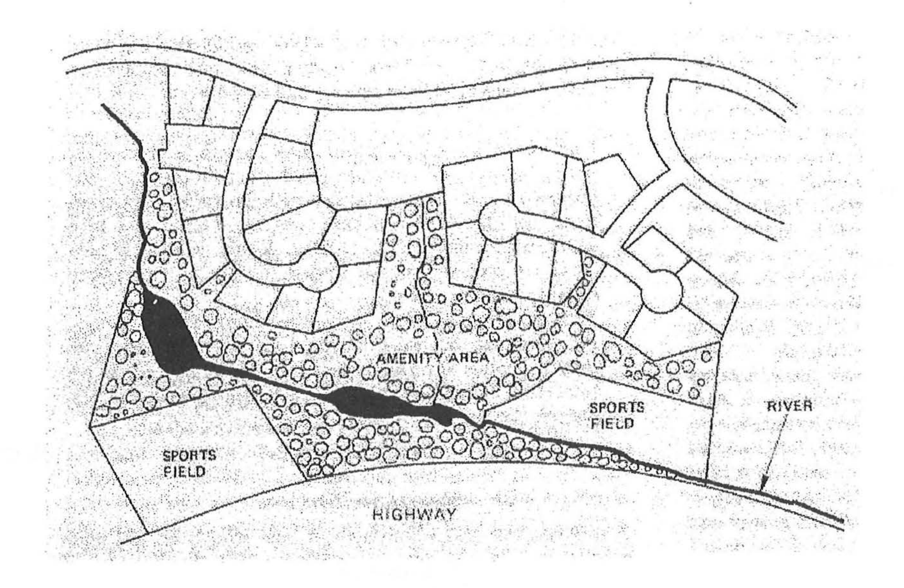
Figura: edificio protegido por una barrera y vegetación.



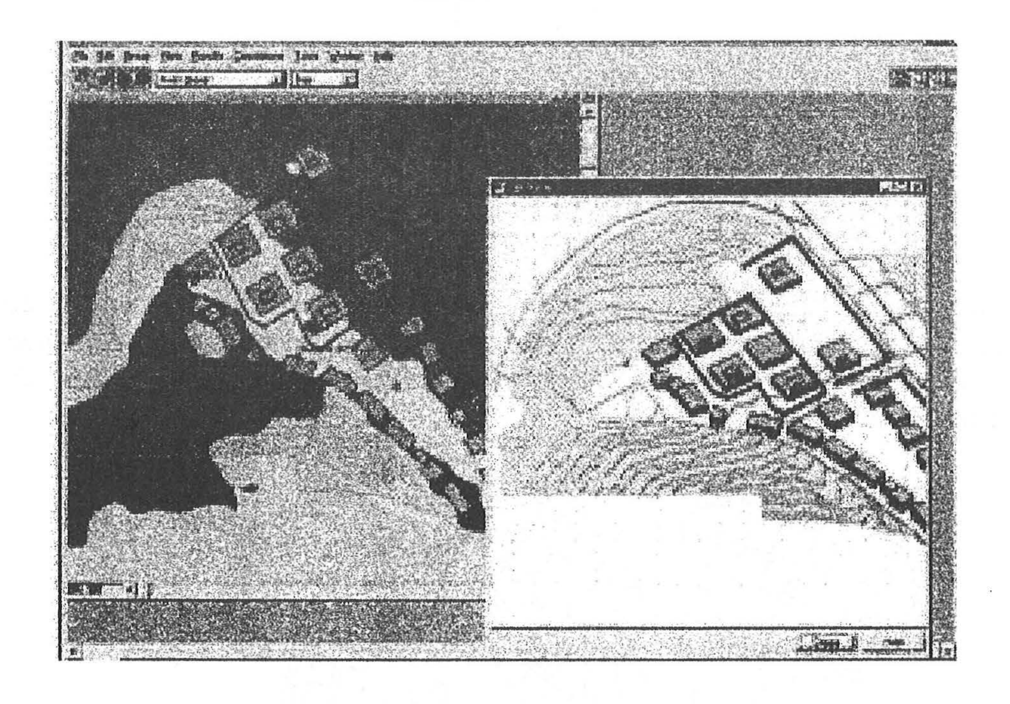
Los retranqueos de las fachadas, el uso de balconadas con petos y la colocación de material acústico absorbente en los sófitos aumentan el aislamiento acústico a ruido aéreo de las fachadas en varios dB. Si los sofitos son reflectantes, aumenta el nivel de presión acústica en la fachada.



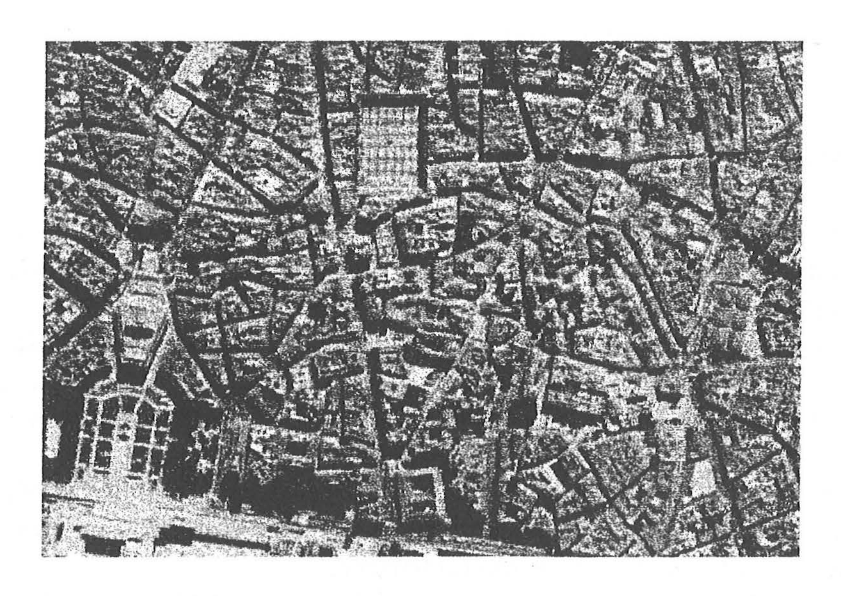
La ubicación de locales comerciales cerca de la autopista apantalla a las viviendas



La ubicación de espacios abiertos reduce el impacto del ruido en zonas residenciales.



Los métodos de predicción pueden utilizarse para situaciones preoperacionales y postoperacionales. Sus costes son menores y pueden simularse diferentes escenarios,. Los modelos de predicción deben contrastarse y modificarse de forma continua a los niveles reales, teniendo en cuenta la validez del método de previsión. *Es imprescindible su utilización por personas que tengan unos conocimientos de acústica adecuados.*



Vista aérea del centro de Madrid. Plaza Mayor y alrededores



Vista parcial del barrio de Salamanca

BIBLIOGRAFÍA

[1]. Heckl, M., Rathe, E.J., "Relationship between the transmision loss and the impact noise insulation of floor structures", JASA 35(1963), 1825-1830.
[2]. EN ISO 140-6- Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 6: Mediciones en laboratorio del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.
[3]. EN ISO 140-7- Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos.
[4]. EN ISO 140-8 - Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte8: Medición en laboratorio de la reducción del ruido de impactos transmitido a través de revestimiento de suelos sobre forjado normalizado pesado.
[5]. EN ISO 140-12 - Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte12: Medición en laboratorio de aislamiento al ruido aéreo y de impactos entre locales con suelo registrable.
[6]. Beranek, L.L., Rudmose H.W. Sound Control in Airplanes. J.A.S.A. 19, 357-364. 1.947.
[7]. Beranek, L.L. Noise Control in Office and Factory Spaces. Trans.Bull. 18,26-33 (Industrial Hygiene Foundation, Pittsburg, PA). 1.950.
[8]. Beranek,L.L, Reynolds J.L .,Wilson K.E. (1.953). Apparatus and Procedure for Predicting Ventilation System Noise. J.A.S.A. 25, 313-321.
[9]. Beranek,L.L. Revised Criteria for Noise Control in Buildings. Noise Control 3,19-27. 1.957.
[10]. American National Standard S3.14-1977 (R-1.986).Rating Noise With Respect to Speech Interference. Acoustical Society of America. New York.. 1.977, 1.986.
[11]. Beranek,L.L., Blazier W.E., Figwer,J.J. Preferred Noise Criteria (PNC) Curves and their Application to Rooms. J.A.S.A 50, 1223-1228. 1.971.
[12]. International Standars Organisation. Acoustics ISO (R-1.996). Assessesment of noise respect to community response. 1.971.
[13. Blazier, W.E. ,Jr. Revised Noise Criteria for Application in the Acoustical Design and Rating of HVAC Systems. Noise Control Engineering, vol. 16, 64-73. 1.981.
[14] Beranek, L.L. Balanced Noise Criterion (NCB) Curves. J.A.S.A. 86, 650-664. 1.989.
[15] NBE-CA-88. Condiciones Acústicas en los Edificios. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. 1.988.
[16]. Sociedad Española de Acústica. El ruido en la ciudad: gestión y control. 1991

NOTAS

NOTAS

CUADERNO

136.01

CATÁLOGO Y PEDIDOS EN
http://www.aq.upm.es/of/jherrera
mairea@ctv.es

